

MÉMORIAL

DE

L'ARTILLERIE.

MÉMORIAL

DE

L'ARTILLERIE,

OU

RECUEIL DE MÉMOIRES,

EXPÉRIENCES, OBSERVATIONS ET PROCÉDÉS

RELATIFS AU SERVICE DE L'ARTILLERIE;

RÉDIGÉ PAR LES SOINS DU COMITÉ,

AVEC L'APPROBATION DU MINISTRE DE LA GUERRE.

N° VII.



PARIS,

IMPRIMERIE ET LIBRAIRIE DE BACHELIER,

RUE DU JARDINET, N° 12.

1852.





MÉMORIAL

DE

L'ARTILLERIE.



RAPPORT

AU MINISTRE DE LA GUERRE

SUR LES



PRIX D'ENCOURAGEMENT.

(Extrait du registre des délibérations du Comité de l'Artillerie.)

Séance du 7 février 1851.

Conformément à un avis du Comité, en date du 24 mai 1842, les trois questions énoncées ci-après ont été mises au concours; le terme, fixé d'abord au 31 octobre 1843, fut ensuite prorogé jusqu'au 1er mai 1845, par décision ministérielle du 12 septembre 1844.

Première question. « Faire l'historique de l'artillerie con-
» sidérée dans l'attaque et dans la défense des places; dé-
» crire les vicissitudes et les progrès de l'arme dans cette
» partie de l'art militaire, depuis l'établissement du sys-
» tème bastionné jusqu'à nos jours. Donner, comme vue
» d'ensemble, le tableau synoptique des principaux siéges

» entrepris ou soutenus par les Français dans ces derniers
» temps, en faisant ressortir le rôle principal que l'artillerie
» remplit dans ces actions de guerre. Déduire de la critique
» raisonnée de ces opérations, quelques principes fonda-
» mentaux; des maximes pratiques pour employer l'artil-
» lerie avec le plus d'efficacité possible; enfin, les moyens
» de destruction et de protection, offensifs et défensifs,
» dont l'artillerie peut disposer. Les principes et les propo-
» sitions devront être appuyés sur des faits authentiques et
» sur des résultats non contestés. »

Deuxième question. « Rappeler l'époque de l'introduction
» des obusiers dans l'artillerie, l'extension progressive que
» l'usage de cette espèce de bouche à feu a prise, les di-
» vers genres de service auxquels elle a été successivement
» employée.

» Établir les propriétés essentielles des obusiers, en les
» comparant à celles des canons; distinguer les effets qui
» sont respectivement propres aux uns et aux autres, et
» faire ressortir l'importance que l'on doit attacher à ne
» pas les employer indifféremment.

» Discuter les circonstances dans lesquelles il faut, de
» préférence, se servir des obusiers, soit dans les cas va-
» riés que présente la guerre de campagne, soit dans l'at-
» taque et la défense des places. S'attacher principalement
» à reconnaître l'importance des effets qu'ils peuvent pro-
» duire par des feux courbes et avec de petites charges, en
» portant les obus dans les endroits où l'ennemi est à cou-
» vert contre les coups de plein fouet, et en les faisant
» éclater sur le point même de leur chute. Examiner si,

» d'après les services dont ils sont susceptibles, il pourrait
» être avantageux de donner plus d'extension à l'usage des
» obusiers, et, dans le cas de l'affirmative, indiquer les
» modifications qu'il conviendrait d'introduire dans la
» composition des équipages de campagne et de siége,
» ainsi que dans l'armement des places.

» Rechercher les formes et les dimensions principales à
» donner aux obusiers, pour assurer à leurs propriétés la
» plus grande valeur possible. Déterminer le nombre de
» charges différentes qu'il faudrait admettre pour chaque
» calibre dans les approvisionnements de campagne, afin
» de pouvoir proportionner les effets du tir aux résultats
» que l'on voudrait obtenir suivant la nature du but, sa
» distance et sa position.

» Rechercher quelle serait la meilleure charge à donner
» à l'obus pour le faire éclater et pour produire l'incendie.

» Comparer, sous ces divers points de vue, les usages
» des puissances étrangères avec ce qui se pratique en
» France. »

Troisième question. « Service de l'artillerie de montagne.
» Prendre pour base le système actuel de l'artillerie de
» montagne; entrer dans la discussion de tous les éléments
» dont il se compose; examiner si le fusil de rempart
» pourrait être utilement compris dans l'armement des
» batteries destinées à ce genre de service, et, dans le cas
» de l'affirmative, proposer les moyens d'exécution. »

Le Comité faisait remarquer que le matériel de montagne est soumis depuis plusieurs années, en Algérie, à une expérience dont il est important de constater les résultats;

que les concurrents, en relatant avec détail et clarté quelques circonstances de cette guerre, atteindraient un double but; ils ajouteraient à la valeur de leurs propositions, et rempliraient une page importante de l'histoire de l'artillerie française en Afrique.

L'avis du Comité du 24 mai 1842 précité se termine par le paragraphe suivant :

« Indépendamment des Mémoires consacrés à la solution » des trois questions proposées pour le concours, on ad- » mettra, comme dans le concours précédent, tous les Mé- » moires composés sur des sujets offrant de l'intérêt et se » rapportant au service de l'artillerie. »

Dans l'examen qui va suivre, on commencera par les travaux relatifs aux trois questions spécifiées ci-dessus, et l'on terminera par les travaux ayant pour objet des questions se rapportant au service de l'artillerie, et non déterminées.

PREMIÈRE QUESTION.

« *Historique de l'artillerie considérée dans l'attaque et dans la défense des places.* » (*Voir* la première question ci-dessus.)

Deux Mémoires ont été présentés.

Le premier a pour épigraphe : « *Pour que l'expérience d'autrui nous soit de quelque utilité, il faut souvent l'exhumer de la poussière des livres.* »

L'auteur a consacré les dix premiers chapitres à des recherches historiques sur l'époque où la poudre fut employée comme force motrice, et à l'exposé des modifications

successivement apportées au matériel, depuis l'origine de l'artillerie jusqu'à ce jour. Il passe ensuite à l'attaque et à la défense des places, et présente un relevé des batteries construites dans quelques siéges, un tableau du personnel et du matériel employés dans la défense d'un assez grand nombre de places.

Ce travail étendu se recommande par les nombreuses recherches qu'il a nécessitées; mais l'étude des faits ne conduit l'auteur à aucune conclusion nouvelle.

Il en est de même dans la partie intitulée : *Attaque des places*. Aucun détail, aucune explication ou proposition n'accompagnent les noms et les dates qui y sont accumulés. Dans le dernier chapitre, ayant pour épigraphe : « *Suum cuique*, » l'auteur prend en main la défense de l'artillerie contre quelques-uns des écrivains militaires qu'il a consultés.

Le Comité est d'avis que ce Mémoire est une preuve de zèle dont on doit savoir gré à l'auteur.

Le second Mémoire est signé par M. Levasseur (Pierre-Geoffroi), capitaine au 5e régiment, maintenant chef d'escadron commandant l'artillerie à Laon.

Cet officier avait déjà pris part au concours de 1839 par un Mémoire sur la même question, Mémoire qui lui valut une mention honorable et une gratification de 500 francs. Toutefois le Comité ne considéra pas ce travail comme donnant une solution entièrement satisfaisante, et, dans le jugement qu'il en porta, il est dit :

« L'auteur n'a pas traité d'une manière aussi heureuse » la partie la plus importante et, il est vrai, la plus diffi-

» cile de la question, celle qui consistait à déduire de l'é-
» tude des faits, les règles et les principes propres à diriger
» l'emploi de l'artillerie de siége à la guerre (*). »

Dans son nouveau Mémoire, le commandant Levasseur s'est proposé de compléter le travail précédent, et de le modifier d'après les observations faites dans le jugement qui vient d'être rapporté.

Ce Mémoire se recommande, comme celui qui l'a précédé, par un style habituellement correct et souvent animé; il présente de l'intérêt et une suite de faits bien exposés, mais on y remarque des assertions hasardées, quelques exceptions érigées en principe, et des critiques qui ne sont pas toujours exercées avec la réserve que la publicité commande.

On peut aussi reprocher au second travail de n'être pas assez lié au premier; on reconnaît, en le lisant, qu'il n'a été ajouté qu'après coup, pour remédier à ce que le jugement du Comité avait signalé d'incomplet : de là, des retours à des idées déjà émises, à des citations déjà faites, et un défaut de régularité dans l'enchaînement des sujets.

Le Comité est d'avis que les travaux du chef d'escadron Levasseur, pour les concours de 1839 et 1845, sont susceptibles d'être insérés au *Mémorial*, à condition : 1° que les deux Mémoires seront revisés et réunis en un seul; 2° que les critiques y seront présentées sous une autre forme.

On propose, en conséquence, d'accorder à l'auteur des

(*) Rapport du Comité au Ministre, n° V, du *Mémorial*, page v.

éloges sur son style et sur ses recherches, en l'invitant à rendre digne de l'insertion au *Mémorial*, un travail dont une partie a déjà été honorablement mentionnée.

DEUXIÈME QUESTION.

« *Rappeler l'époque de l'introduction des obusiers, etc.* » (*Voir* la deuxième question ci-dessus.)

Aucun Mémoire n'a été envoyé.

TROISIÈME QUESTION.

« *Service de l'artillerie de montagne.* » (*Voir* la troisième question ci-dessus.)

Trois Mémoires ont été envoyés, savoir :

1°. Un Mémoire ayant pour épigraphe : « *La guerre dans* » *un pays de montagne dépourvu de tout chemin de voi-* » *tures, etc....* »

L'auteur présente des vues justes et utiles sur le service des réserves de l'artillerie dans les colonnes opérant en Afrique ; sur la composition de ces réserves ; sur les soins à prendre en marche et devant l'ennemi. La question de savoir si le fusil de rempart doit faire partie de l'armement des batteries de montagne est étudiée avec soin.

Le Comité est d'avis que ce Mémoire mérite une mention honorable.

2°. Un Mémoire ayant pour épigraphe : « *Avant l'emploi* » *de l'obusier de 12 centimètres, avant l'adoption du système* » *actuel, on pouvait dire, etc.* »

L'auteur consacre les six premiers chapitres à examiner si la guerre de montagne exige un matériel particulier; puis, après avoir résolu cette question affirmativement, il suppose que rien n'existe à cet égard, et se trouve conduit à discuter l'espèce de bouche à feu, le calibre et l'affût les plus convenables : c'est ainsi qu'il arrive au système actuel.

Le chapitre VIII est consacré au service en campagne, et se recommande par le soin que met l'auteur à indiquer d'utiles précautions dans les diverses circonstances des marches et campements, par la justesse des observations et l'absence de l'esprit de système dans l'appréciation qu'il fait des divers usages qui se sont introduits en Algérie, pour effectuer le transport du matériel.

Sous les titres : *Mouvements offensifs, position défensive, arrière-garde*, l'auteur examine l'emploi de l'artillerie de montagne devant l'ennemi. Les préceptes qu'il établit paraissent motivés; ils indiquent de l'expérience, un esprit juste; mais il est à regretter que ces préceptes ne soient pas accompagnés d'applications, et qu'aucune action de la guerre d'Afrique ne se trouve mentionnée dans ce chapitre.

Le Comité est d'avis qu'il y a lieu de publier dans le prochain numéro du *Mémorial*, un *extrait* du chapitre VIII du présent Mémoire et quelques remarques de l'auteur sur les bâts et la limonière;

Qu'il y a lieu d'accorder une mention honorable.

3°. Un Mémoire sans épigraphe et signé par le com-

mandant Pariset, chef du service de l'artillerie à Constantine (*).

La position de l'auteur en Afrique lui a fait ignorer la prorogation du concours jusqu'au 1er mai 1845; c'est par ce motif, qu'adressant son travail le 14 août 1844, il crut devoir le signer.

Le Mémoire du colonel Pariset offre beaucoup d'intérêt dans la partie consacrée au service en campagne; un grand nombre d'observations sont présentées avec tout l'avantage et toute l'autorité que donne une longue expérience; mais ce travail contient des propositions un peu hasardées. On y rencontre aussi la critique de quelques dispositions fondamentales et de mesures qui, récemment adoptées, ne paraissent pas devoir être remises en question.

Toutefois, en considérant l'utilité que peut offrir la lecture de ce Mémoire, et en remarquant que la position de l'auteur ne lui a pas permis de prendre pour point de départ l'état actuel de quelques-unes des questions qu'il a traitées, le Comité est d'avis qu'il y a lieu de publier, dans le prochain numéro du ***Mémorial,*** un extrait du travail du colonel Pariset, comprenant tout ce qui se rattache au service de l'artillerie de montagne en marche et devant l'ennemi;

Qu'il y a lieu d'accorder une mention honorable.

Observation.— Les Mémoires sur l'artillerie de montagne ne devant être imprimés que par extraits, le Comité en a

(*) M. Pariset (N.-F.-J.) est actuellement colonel commandant le 4e régiment d'artillerie.

fait faire le résumé; c'est ce travail, complété à l'aide de nouveaux matériaux, qu'on propose d'insérer dans le *Mémorial*.

QUESTIONS NON DÉTERMINÉES.

Les travaux se rapportant à des questions non déterminées par le Comité sont au nombre de trois, savoir :

1°. Un Mémoire sur le tir à ricochet des mortiers dans la guerre de siége, ayant pour épigraphe : « *On est bientôt* » *accoutumé au ricochet, qui est la meilleure et la plus excel-* » *lente manière d'employer utilement les canons dans les siéges* » *qui se soit jamais mise en usage.* (Vauban.)

L'auteur partage son Mémoire en trois parties. Il présente dans la première l'historique du tir à ricochet en général, et une discussion sur l'emploi de ce tir. La seconde est consacrée à la comparaison du tir à ricochet des mortiers avec celui des autres bouches à feu de siége. L'emploi des mortiers tirant à ricochet pour l'attaque et la défense des places fait l'objet de la troisième partie.

Ce Mémoire laisse à désirer, surtout sous le rapport de la méthode. L'auteur expose, dans la troisième partie, la valeur qu'il attribue au tir à ricochet des mortiers; il fait de ce tir le moyen d'attaque le plus efficace; il l'emploie depuis la première parallèle jusqu'au couronnement du chemin couvert, et se trouve ainsi conduit à une composition d'équipage de siége dans laquelle le nombre des mortiers est le double de celui qui résulterait des bases posées par l'*Aide-mémoire*.

Des idées aussi éloignées de ce qui jusqu'ici a été admis en doctrine ne paraissent pas de nature à être publiées dans le *Mémorial*, même sous toutes réserves.

Le Comité est d'avis :

Que le Mémoire ayant pour épigraphe : « *On est bientôt » accoutumé au ricochet, etc.,* » peut être conservé à titre de renseignement ;

Qu'il y a lieu de savoir gré à l'auteur des recherches utiles renfermées dans quelques-unes des parties de son travail.

2°. Un Mémoire adressé en janvier 1844 par M. Meyssonnier, alors capitaine au 9e d'artillerie, maintenant major au 8e régiment. Ce Mémoire est consacré à faire ressortir l'utilité d'une batterie casematée à opposer aux batteries de brèche, et celle d'une enceinte intérieure désignée sous le nom de *courtine-cavalier*.

Cet énoncé suffit pour faire reconnaître que l'auteur a dirigé ses travaux vers une question qui est bien plutôt du ressort de la fortification que de celui de l'artillerie. Le Comité des fortifications, à l'occasion de propositions analogues, faites par M. Madeleine, ancien capitaine d'artillerie, a émis un avis dont l'extrait suivant semble applicable au travail de M. Meyssonnier (*) :

« On n'a jamais songé à contester l'utilité des batteries » casematées convenablement situées et organisées, celle » des abris pour la garnison des retranchements intérieurs,

(*) Avis du Comité des fortifications notifié à M. Madeleine, le 13 février 1846, et inséré dans l'ouvrage intitulé : *Fortifications de Coblentz*, page 137.

» et de tous les moyens accessoires que vous proposez pour
» retarder les cheminements de l'ennemi.

» Ces mesures sont appliquées partout où l'on reconnaît
» avantage à le faire; leur importance n'est pas ignorée ou
» méconnue, ainsi que vous l'avez supposé, et, si on ne
» l'emploie pas plus fréquemment, c'est qu'il est une con-
» sidération essentielle, l'économie, qui force bien souvent
» l'ingénieur militaire à restreindre la dépense dans d'é-
» troites limites, et à rejeter toute amélioration qui n'aug-
» menterait pas la durée des siéges en proportion des frais
» qu'entraînerait son exécution. »

Le Comité est d'avis qu'il y a lieu de conserver, à titre de renseignement, le Mémoire de M. le commandant Meyssonnier.

3°. Un Mémoire rédigé en 1845 par une Commission d'officiers appartenant alors à l'École de Vincennes. Ce travail contient le résumé des *principes* émis par les principaux auteurs sur l'armement des places, et des dispositions indiquées par quelques-uns d'entre eux, comme favorables à la défense.

La Commission, après avoir fait une appréciation critique de ces principes, ajoute ses propres idées sur quelques parties de la défense des places. Le rapprochement qu'elle établit entre les opinions d'auteurs célèbres, ainsi que les observations et propositions dont ce rapprochement est accompagné, présentent de l'intérêt. Il ne paraît pas cependant y avoir dans ce travail un degré d'utilité suffisant pour motiver son insertion au *Mémorial*, soit en entier, soit par extrait.

L'avis du Comité est qu'il y a lieu de conserver, à titre de renseignement, le Mémoire de la Commission de Vincennes.

En résumé, le Comité a l'honneur de soumettre à l'approbation de M. le Ministre les propositions suivantes :

1°. Renvoyer à M. Levasseur, chef d'escadron, son travail sur la première question, en invitant cet officier à le modifier d'après les observations relatées ci-dessus;

2°. Accorder une mention honorable à MM. Pariset, colonel, de Sévelinges, lieutenant-colonel, et Lugan, chef d'escadron, qui ont envoyé des Mémoires intéressants sur l'artillerie de montagne; Mémoires qui ont servi à rédiger sur cette troisième question du concours, le travail d'ensemble que l'on propose d'insérer dans le t. VII du *Mémorial*.

3°. Relativement aux questions non déterminées, conserver aux archives du Dépôt central, à titre de renseignements :

Un Mémoire sur le tir à ricochet des mortiers (transmis sans nom d'auteur);

Un projet de M. Meyssonnier, chef d'escadron, sur une batterie casematée;

Un Mémoire de plusieurs officiers de l'École de Vincennes sur l'armement des places.

4°. Prévenir tous les officiers d'artillerie, par une Note insérée au Journal militaire, de l'ouverture d'un nouveau concours sur la première question (*l'artillerie dans la guerre de siége*), et sur la deuxième question (*les obusiers*). (*Voir* plus haut les énoncés auxquels il n'est fait aucun changement.)

5°. Indépendamment des Mémoires consacrés à la solution des deux questions ci-dessus, admettre, comme dans les concours précédents, tous les Mémoires offrant de l'intérêt et se rapportant au service de l'artillerie.

6°. Prévenir les concurrents qu'ils pourront recevoir des gratifications à titre d'encouragement, et que les Mémoires adressés pour le nouveau concours devront être parvenus au Ministère de la Guerre, le 1er octobre 1852, terme de rigueur.

Le Général de division, Président du Comité de l'Artillerie,
Signé PAILLHOU.

Le Colonel d'Artillerie, Secrétaire du Comité,
Signé BORN.

Les propositions du Comité énoncées ci-dessus ont été approuvées le 29 avril 1851, par le Ministre de la Guerre.

MÉMORIAL

DE

L'ARTILLERIE.

NOTICE

SUR

L'ARTILLERIE DE MONTAGNE.

En remontant aux premières époques de l'organisation de l'artillerie et en suivant la marche des changements successifs qu'elle a subis, on voit que jusqu'à l'an XI, on s'était peu préoccupé de créer un matériel propre à la guerre de montagne.

Saint-Remi parle de pièces de 1, coulées vers 1741; elles pesaient 150 kilogrammes et avaient près de $1^{m},65$ de long; quelques-unes étaient formées de deux parties qui s'ajustaient l'une sur l'autre comme un étui. On ne pense pas qu'on en ait jamais fait usage; car Saint-Remi rapporte qu'un seul mulet devait porter la pièce avec son affût et un approvisionnement de douze coups, ce qui eût constitué un chargement de plus de 200 kilogrammes.

Le même auteur parle aussi de pièces de 4, dites de *brancards*, pouvant être transportées à dos de mulet; mais il ne paraît pas qu'on en ait coulé, car l'ordonnance de 1732 et celle de 1765 n'en font aucune mention.

Gribeauval n'a fait entrer dans son système qu'une seule bouche à feu, propre à la guerre de montagne; c'est la pièce de 1, dite de *troupes légères* ou à la *Rostaing*.

Lors de la conquête de la Corse, en 1772, on employa peu d'artillerie dans les montagnes; on se servit de traîneaux pour y porter quelques canons de 4; on fit usage aussi de la pièce de troupes légères.

Les premières campagnes de la Révolution, dans les Pyrénées, les Alpes et les Apennins, firent vivement sentir le besoin d'une artillerie spéciale, propre à la guerre de montagne. Mais ce n'était pas au milieu des événements qui se pressaient alors avec tant de rapidité, que l'on pouvait prendre le temps de créer et d'étudier un système. On para comme on put, au plus pressé; on se servit des ressources que l'on avait sous la main dans les pays servant de théâtre aux opérations; on tâtonna; on essaya de tout, sans s'arrêter à rien. On employa des fusils de rempart tirant sur chevalets; des pièces de 3 légères, prises aux Piémontais, sur affûts à rouages et sur affûts à chevrette; des pièces de 4 sur affûts-traîneaux; des pièces de 8 et de 12 sur affût porte-corps; l'obusier de 6 pouces sur affût-traîneau à chevrette; le mortier de 8 pouces sur un affût spécial.

En l'an XI, dans l'organisation générale du nouveau matériel de l'artillerie, on fit entrer un équipage de montagne qui comprenait les trois bouches à feu suivantes :

Un canon de 3, pesant................	80^{kil}
Un canon de 6, pesant................	225
L'obusier de 24 de campagne, pesant....	300

Ce système, créé à la hâte, ne répondit pas à l'attente de ses auteurs; il péchait par la complication des détails de construction; plusieurs dispositions des affûts étaient vicieuses; le matériel dans son ensemble était lourd et embarrassant.

A l'époque de la guerre d'Espagne (1810-1811-1812), on employa, en Catalogne et dans les provinces du midi, des batteries de montagne, transportables à dos de mulet, composées de canons de 3 français, de canons de 2 et de 4 espagnols, et d'obusiers de 12 centimètres. Cette dernière bouche à feu n'était ni espagnole ni d'invention nouvelle. Le général Lariboissière l'avait remarquée en Suisse, en 1799; et ce fut d'après les dessins du général Sénarmont, que les premiers obusiers de 12 centimètres, employés par l'armée française, furent coulés à la fonderie de Séville. Ils parurent, dans la pratique, d'un effet satisfaisant et supérieurs aux canons.

On était sur la voie du progrès; mais la fin de la guerre d'Espagne fit interrompre l'étude de cette importante question. Ce ne fut qu'en 1821, après plusieurs années de paix et dans la prévision d'une nouvelle guerre en Espagne, que l'on s'occupa sérieusement de constituer le matériel d'artillerie de montagne. Sur un ordre du Ministre de la Guerre, les colonels directeurs d'artillerie à Grenoble et à Toulouse formèrent des équipages de montagne avec le matériel existant sur les frontières des Alpes et des Pyrénées; des Commissions furent nommées dans ces deux villes, pour suivre les expériences.

Voici le résumé sommaire de leurs travaux.

Expériences de Grenoble (Année 1821).

Le colonel directeur à Grenoble put mettre à la disposition de la Commission, des bouches à feu des espèces suivantes :

Canons de campagne	de 8	sur affût porte-corps à roulettes. — Roulant.
	de 4	sur affût-traîneau à chevrette et à roulettes. — Non portatif.
Canons français et piémontais.	de 3	sur affût étranger à chevrette et à roulettes. — Portatif.
	de 3	sur affût à rouage à la Rostaing, avec avant-train. — Non portatif.

Canons français { de 2 / de 1 1/4 } sur affût de 1 1/4 à rouage. — Portatif.

Canons de 1 de troupes légères.

On essaya aussi sur l'affût porte-corps de 8, des pièces de 6 et des obusiers de 24 de campagne.

Les affûts de 4 étaient de deux espèces; les uns avaient $1^{m},705$ ($5^{p}\,3^{o}$) de long; les autres, $1^{m},460$ ($4^{p}\,6^{o}$) seulement.

La Commission rejeta, après quelques expériences préliminaires, l'affût de 3 étranger et l'affût de 3 à la Rostaing, comme versants, donnant trop de recul, difficiles à traîner et à manœuvrer; de plus, l'affût à la Rostaing manquait de solidité.

La Commission avait à sa disposition un obusier vénitien du calibre de 115^{mm} ($4^{o}\,3^{l}$) qu'elle fit aléser au calibre de 12 centimètres, et qu'elle reconnut, par de nombreuses expériences, être d'un excellent service. Elle l'introduisit dans l'équipage de montagne, ainsi qu'un affût de 3 à flasques, portatif ou roulant à volonté, commun à l'obusier et au canon; cet affût avait été comparé avec un affût à flèche et lui avait été préféré comme donnant moins de recul.

L'obusier vénitien, après l'alésage, pesait 104 kilogrammes; la charge était de 245 grammes (8 onces).

En définitive, la Commission de Grenoble proposa (30 août 1822) pour la composition des batteries de montagne :

Un canon de 3 / Un obusier de 12 cent. } poids : 108 à 110 kilogrammes.

Un affût à flasques avec essieu en bois, commun aux deux bouches à feu.

Poids de l'affût.................	95 kilog.	143 kilogr.
Poids des roues.................	48 kilog.	
Longueur d'âme du canon de 3....	12 calibres.	
Longueur d'âme de l'obusier......	4 calibres.	
Charge de poudre du canon.......	367 grammes (12 onces).	
Charge de poudre de l'obusier.....	306 grammes (10 onces).	

Le directeur d'artillerie à Toulouse, en réunissant tout le matériel de montagne disséminé sur la frontière des Pyrénées, put mettre à la disposition de la Commission : Expériences de Toulouse (Année 1821)

Des canons de
- 4 court.
- 3 court.
- 2 court.
- 1 de troupes légères.
- 1/2.

Des obusiers de 12 centimètres ($4^{\text{p}}6^{\text{l}}$).

Des affûts de
- 4 à traîneau.
- 3 à chevrette et à roulettes.
- 3 à rouage.
- 2 à rouage.
- 1 de troupes légères.
- 1 sur roues.
- 1 sur roues et double brancard.
- 1/2 à chevrette.
- obusier de 12 centimètres, sur roues.

Ce matériel fut partagé en trois divisions :

1°. Pièces et affûts transportables seulement à dos de mulet;

2°. Pièces et affûts pouvant être traînés, ou portés à dos de mulet;

3°. Pièces et affûts ne pouvant être que traînés.

Les canons étaient d'origine française, espagnole, anglaise et piémontaise. Les obusiers étaient de ceux, dont il a déjà été parlé, qui furent coulés à Séville sur les dessins du général Sénarmont. Le directeur à Toulouse obtint l'autorisation d'en faire couler six semblables; ce qui porta à dix le nombre total de ces bouches à feu.

A la suite d'expériences parfaitement conduites, la Commission conclut :

1°. Que toute pièce de montagne doit être assez légère

pour qu'on puisse aisément la charger et la transporter à dos de mulet;

2°. Que, dans les limites imposées par la difficulté du transport, on doit préférer les plus forts calibres, parce que le tir à mitraille produit plus d'effet, et que les projectiles sont plus susceptibles, par leur masse, de renverser les obstacles;

3°. Que les feux courbes étant très-utiles pour fouiller les plis de terrain, l'obusier, qui porte d'ailleurs très-bien sa mitraille, doit être considéré comme l'arme la plus convenable à la guerre de montagne;

4°. Enfin, que la difficulté des rechanges et des approvisionnements de toute espèce exige qu'un équipage de ce genre soit le plus simple possible; en conséquence, on ne doit joindre aux obusiers que des pièces d'un seul calibre.

D'après ces principes, la Commission rejeta la pièce de 3 anglaise, comme trop lourde; les pièces de 2 espagnoles, comme d'un calibre trop faible, et la pièce de 3 piémontaise, parce qu'elle fatigue beaucoup son affût.

Elle proposa d'adopter une pièce de 4 d'un tracé nouveau (*), et l'obusier de 12 centimètres, tel qu'il avait été coulé à Toulouse, pesant 84 kilogrammes. Les deux bouches à feu avaient un affût commun, à flèche, à rouage et à limonière, avec essieu en bois.

Les tourillons de l'obusier étaient les mêmes que ceux du canon de 4. La chambre de l'obusier et l'âme du canon avaient le même diamètre, ce qui permettait d'employer les mêmes sachets et les mêmes écouvillons.

Les charges étaient égales, 306 grammes (10 onces).

Poids de l'affût commun aux deux bouch. à feu.	70 kil.	123 kil.
Poids des roues....... *id.*	53 kil.	

(*) La pièce de 4, tirée dans les expériences, avait primitivement une chambre que la Commission fit disparaître.

Poids de l'obusier de 12 centimètres......	84 kilogrammes.
Poids du canon de 4....................	84 kilogrammes.
Longueur d'âme de l'obusier............	4 calibres $^1/_2$.
Longueur d'âme du canon..............	12 calibres.
Charge commune aux deux bouches à feu..	306 gr. (10 onces).

Le Ministre de la Guerre approuva cette organisation et ordonna (30 octobre 1821) de couler trente canons de 4 du modèle proposé par la Commission, et vingt obusiers de 12 centimètres, ce qui, avec les dix obusiers déjà existants, formait un total de soixante bouches à feu de montagne.

A la même date, le Ministre décida que les essais seraient continués sur cet équipage par une nouvelle Commission formée à l'école de Toulouse.

On a dit plus haut que les obusiers coulés à Séville servirent de types, d'abord pour la fabrication des six obusiers que demanda le directeur, ensuite pour la fabrication des vingt que commanda le Ministre. Toutefois, dans l'exécution de ces deux commandes, le tracé fut modifié en quelques points, selon les indications de la science et de l'expérience. Ainsi,

L'âme fut allongée d'un demi-calibre;

La chambre fut du calibre de 4;

L'épaisseur des parois de l'âme fut augmentée, et celle de la culasse diminuée;

La prépondérance de la culasse, qui était de 10 kilogrammes, fut portée d'abord à $14^{kil},30$; puis, à 20 kilogrammes, en avançant les tourillons vers la bouche;

Le diamètre des tourillons fut augmenté de manière à doubler leur résistance.

La seconde Commission de Toulouse détermina les portées des pièces, leur résistance et celle de l'affût. Elle régla, en outre, le poids des charges, celui de l'obus et ses dimen-

sions, les formes du sabot et tout ce qui concerne le tir à balles. Elle régla aussi le mode de transport; arrêta le modèle des bâts, celui des caisses et leur chargement, ainsi que le harnachement du mulet pour l'emploi de la limonière.

Son Rapport est du 10 juin 1822.

Ce fut seulement après cette époque, que la Commission de Grenoble présenta l'équipage dont on a parlé plus haut.

La comparaison des deux projets se trouve dans le tableau suivant :

Tableau synoptique des équipages d'artillerie de montagne, proposés par les Commissions de Grenoble et de Toulouse.

DÉSIGNATIONS.	CANONS.		OBUSIERS.	
	Grenoble.	Toulouse.	Grenoble.	Toulouse.
Calibres	3	4	cent 12	cent 12
Poids des bouches à feu	110kil	84kil	108kil	84kil
Poids des affûts	95	70	95	70
Poids des roues	48	53	48	53
Poids du système (kilogrammes)	253	207	251	207
Charges (grammes)	307	306	306	306
Longueur d'âme (en calibres)	12	12	4	4½
Angle de tir (degrés)	5	5	5	5
Portées (mètres)	n. constaté	960	600	600
Angle des crosses et du terrain	34°	30°	34°	30°
Reculs (mètres)	3,60	4,50	5,70	8,50

Le projet de la Commission de Greuoble présente quelque avantage sous le rapport des portées et du recul; mais il est inférieur au projet de la Commission de Toulouse, sous le rapport du poids et du calibre du canon.

L'équipage formé à Toulouse fut employé en 1823, dans la campagne d'Espagne. Le général Berge, qui commandait l'artillerie en Catalogne, fit un Rapport à ce sujet, et conclut à ce que l'artillerie de montagne fût toujours portée, c'est-à-dire à ce qu'on supprimât la limonière.

Pendant cette même année 1823, le Comité de l'artillerie s'occupa de l'importante question que soulevait l'adoption définitive d'un système d'artillerie de montagne.

Voici les considérations principales qui le guidèrent dans ses travaux, et déterminèrent son opinion.

L'artillerie de montagne, par la nature même de son service, doit être assez légère pour pouvoir être transportée à dos de mulet. Cette condition fixe le poids de la pièce, d'une part, celui de l'affût et des roues, de l'autre, à 100 ou 110 kilogrammes au plus, et le poids total de la bouche à feu et de l'affût à 220 kilogrammes environ. Il faut d'abord déterminer quelle est la charge de poudre dont un pareil système peut supporter l'effet. En prenant pour terme de comparaison l'ancien canon de 4 de campagne, son affût, ses roues et sa charge, on est conduit à une charge de 275 grammes (9 onces), et en tenant compte des perfectionnements qui ajoutent à la solidité de l'affût et diminuent le recul, on peut porter à 305 ou 367 grammes (10 ou 12 onces) le poids de la charge cherchée.

La longueur de la pièce est déterminée par la condition du chargement sur le mulet; elle ne peut varier qu'entre d'étroites limites, de $0^m,98$ à $1^m,05$.

Reste à déterminer le calibre et la longueur d'âme convenables pour l'emploi le plus avantageux de la force produite par la charge adoptée.

En agissant comme on l'a fait pour trouver la charge, et en établissant des analogies avec le matériel de cam-

pagne, on est conduit à une longueur d'âme égale à huit fois la longueur de la charge de poudre; ce qui, pour les calibres de 2, de 3 et de 4, et pour une charge de 305 grammes, donne les résultats suivants :

Canon de 2, 17 calibres de longueur d'âme.
Canon de 3, 11 calibres de longueur d'âme.
Canon de 4, 8 calibres de longueur d'âme.

Le canon de 2, avec 17 calibres de longueur d'âme et une charge de 305 grammes, sensiblement égale au tiers du poids du boulet, serait dans les conditions avantageuses de l'artillerie de campagne; mais cette bouche à feu ne peut être adoptée, parce que son projectile manque d'efficacité, et parce que la longueur d'âme de 17 calibres dépasse la limite fixée par la condition du chargement sur le mulet (*).

Les canons de 3 et de 4 réduits respectivement à une longueur d'âme de 11 et de 8 calibres seraient, sous le rapport de la justesse du tir, très-inférieurs aux canons de campagne qui ont 17 calibres de longueur; les expériences de Toulouse ont constaté que le canon de 4, de 12 calibres de longueur d'âme, tirait sans justesse dès l'angle de 3 degrés. Ce ne serait pas à cet égard seulement que l'artillerie de montagne, composée de canons de 3 ou de 4, serait, relativement, inférieure à l'artillerie de campagne; car, dans celle-ci, la charge est toujours égale au tiers du poids du boulet, tandis que la charge de 305 grammes n'est que le 1/5 du poids du boulet de 3 et le 1/6 de celui du boulet de 4.

Ainsi, en adoptant le canon pour l'artillerie de mon-

(*) Le calibre est de $0^m,06653$ (2^p 5^l 6^{pts}), quantité qui, multipliée par 17, donne $1^m,131$, ce qui dépasse les limites énoncées ci-dessus.

tagne, on ne pourrait pas obtenir, sous le rapport de la justesse du tir et de la portée, des effets proportionnels à ceux que produit l'artillerie de campagne. Il reste à voir si la comparaison du canon et de l'obusier, dans les circonstances les plus habituelles de la guerre de montagne, serait plus favorable à la première de ces bouches à feu.

Le canon de 4 de montagne a sur l'obusier de 12 centimètres, l'avantage de portées un peu plus étendues; en outre, avec les mêmes moyens, on transporte une plus grande quantité de munitions. Mais, dans les circonstances les plus fréquentes de la guerre de montagne, les points à battre ne sont pas au delà de 600 mètres; dans ce cas, l'obusier, agissant et par le choc et par l'explosion de son projectile, produit des effets beaucoup plus décisifs.

Entre 600 et 800 mètres, les avantages des deux bouches à feu se balancent; car, si le canon a plus de justesse, l'obusier produit plus d'effets par les éclats et même par la détonation des obus.

Au delà de 800 mètres, le canon aurait de l'avantage sur l'obusier; mais sans être pour cela d'un emploi complétement satisfaisant; car ses effets seraient inférieurs à ceux du canon de 4 de campagne qui, aux grandes distances, laissent, comme on sait, beaucoup à désirer.

Le tir au delà de 800 mètres étant d'ailleurs considéré comme une exception dans la guerre de montague, on a pensé qu'il n'y avait pas lieu de sacrifier à un cas particulier la supériorité de l'obusier sur le canon aux distauces de 500 et 600 mètres, et la simplification qui résulte de l'emploi d'une bouche à feu unique.

La faculté de transporter avec le même nombre de mulets une quantité de munitions presque double, est tout à fait en faveur du canon; mais l'expérience tend à diminuer l'importance de cette considération, car elle prouve qu'un

approvisionnement de cent coups par pièce a toujours été suffisant. Or l'obusier peut être approvisionné à cent coups, et même au delà, sans que le nombre des mulets (*) dépasse une limite raisonnable.

Comme résumé de cette discussion, et pour la terminer par une citation qui ait à la fois de l'intérêt et de l'autorité, on extraira d'un Mémoire du général Berge le passage où il exprime son opinion sur l'espèce de bouche à feu la plus convenable pour la guerre de montagne :

« Le succès des affaires qui ont lieu dans les montagnes » dépend presque toujours de la prise ou de la conservation » d'un mamelon ou d'un escarpement qui domine soit la » vallée, soit le contre-fort par lequel les troupes opèrent ; » ces troupes agissent, au moment du combat, non comme » en plaine par lignes ou par colonnes formées régulière- » ment, mais par masses de tirailleurs dont les succès dépen- » dent plus de la volonté des soldats, que dans les batailles » rangées où ils se trouvent encadrés par rang, sous la sur- » veillance immédiate de leurs chefs. L'influence de l'ar- » tillerie sur le moral des troupes est donc plus grande dans » la guerre de montagne que dans les batailles rangées ; et » cependant, les effets réels de l'artillerie de montagne sont, » en général, beaucoup moindres que ceux de l'artillerie » de campagne. Il convient donc de composer la première » de manière que son effet moral soit le plus grand pos- » sible. Le plus souvent son champ de tir est très-borné ; » les projectiles ne peuvent produire leur effet que de plein » fouet et par leurs éclats, lorsqu'ils sont creux, parce » qu'ils sont tirés avec de faibles charges, de petites vitesses

(*) Dans une batterie de montagne ayant un effectif de cent mulets, il y en a soixante-deux employés au transport de cent vingt-quatre caisses à munitions contenant ensemble neuf cent quatre-vingt-douze coups ou cent soixante-cinq coups par obusier.

» et sous de grands angles. Dans ces diverses circonstances, » l'effet réel des boulets est très-petit, et leur effet moral » est presque nul. La forme du terrain se prête davantage » aux effets des obus qui agissent par leur choc et par leurs » éclats. Leur effet réel est au moins aussi grand que celui » des boulets; car, si d'un côté les obus ont une portée de » plein fouet un peu inférieure à celle des boulets, de » l'autre la plus grande courbure de leur trajectoire per- » met de les projeter sur les troupes placées derrière les » accidents de terrain où les boulets ne pourraient les at- » teindre. Les obus agissent d'ailleurs fortement, tant par » leurs éclats que par l'effet moral produit par leur déto- » nation : on croit pouvoir affirmer que ces derniers effets » sont ceux qui ont toujours le plus contribué aux succès » obtenus dans la guerre de montagne, et que ce sont ceux » qui doivent déterminer la composition des équipages » d'artillerie destinés à cette guerre. A l'appui de cette opi- » nion, on peut produire les résultats qu'on obtint à » l'armée du midi de l'Espagne, dans les campagnes des » années 1810-1811-1812, de plusieurs batteries de mon- » tagne qui furent composées, d'après l'usage suivi pour les » batteries de campagne, de canons de 3 et de 4, et d'obu- » siers de 12.

» L'expérience prouva que les canons de 3 et de 4 ne » produisaient que peu d'effets, et que les obusiers de 12 en » produisaient de décisifs; aussi l'on n'eut que peu de muni- » tions à canon à remplacer, et les consommations por- » tèrent principalement sur les obus.

» Des obusiers d'une de ces batteries décidèrent la prise » du fort de Marbella situé sur la côte de la Méditerranée, » près de Malaga, tandis que les canons n'y produisirent » aucun effet. Des obusiers forcèrent encore plusieurs fois » des chaloupes canonnières espagnoles portant du canon » de 24, à sortir du Riotinto, dans le comté de Niebla, tan-

» dis que les canons de 4 n'auraient pu se mesurer, par leur
» feu direct, avec les canons de 24 dont ces chaloupes
» étaient armées. L'emploi de chef d'état-major de l'artil-
» lerie, que j'occupais à l'armée du midi de l'Espagne,
» me mit à même d'apprécier tous ces faits; et la connais-
» sance que j'en avais me décida à demander, en 1823,
» que la batterie de montagne qui était destinée au qua-
» trième corps de l'armée des Pyrénées dont je comman-
» dais l'artillerie, fût composée exclusivement d'obusiers
» de 12. »

Le Comité, après avoir pesé ces considérations et examiné les résultats obtenus dans les diverses expériences dont on a tracé l'esquisse rapide, demanda que de nouveaux essais fussent faits avec une bouche à feu établie dans les conditions suivantes :

Obusier de 12 cent.	Longueur d'âme.........	6 calibres.
	Chambre cylindrique du calibre de 4.	
	Prépondérance de la culasse, 1/4 ou	25 kilogr.
	Poids.........	100 kilogr.
	Abaissement de l'axe des tourillons au-dessous de l'axe de la bouche à feu	27 millim.
Affût à flèche	L'encastrement des tourillons en arrière de celui de l'essieu.	
	Angle de la crosse av. le terr.	34 degr.
	Poids (y compris les roues). .	129 kilog.

Ainsi, l'on supprimait le canon de 4 et la limonière.

Le Ministre approuva cette proposition le 3 juillet 1823.

Expériences de Douai (Année 1825).

Deux obusiers et deux affûts furent construits, sur ces données, à Douai où une Commission les mit en expérience au mois de mars 1824.

Cette Commission fit son Rapport en janvier 1825.

Les expériences furent entièrement favorables au système en essai; les dispositions adoptées pour l'affût avaient diminué le recul d'une quantité notable.

En donnant à l'âme six calibres de longueur, on avait augmenté la portée. A 800 mètres, l'obus pénétrait encore profondément dans la butte; toutefois, le tir perdait de sa justesse. La Commission indiqua donc la distance de 500 à 600 mètres comme la bonne portée de l'obusier, pour le tir à obus.

Cette distance se trouva notablement réduite pour le tir à mitraille; car, à 275 mètres, les panneaux en bois blanc n'étaient plus traversés par les balles; la distance de 200 mètres fut donc considérée comme la limite de l'efficacité de ce tir (*). L'essai comparatif des charges de 275 grammes (9 onces), et 305 grammes (10 onces), fut favorable à la première; la Commission proposa de l'adopter, et de fixer à 5 degrés le maximum de l'angle de tir (**).

Les expériences furent, de plus, entièrement favorables quant à la solidité et à la stabilité de l'affût; aucune altération importante ne fut remarquée, après les épreuves, dans l'état de l'âme, de la lumière et des tourillons.

Ces résultats, par cela même qu'ils étaient satisfaisants, firent naître la pensée qu'il serait peut-être possible d'obtenir plus de légèreté, en conservant une solidité suffisante.

Cette question fut étudiée à Vincennes, en 1826.

Expériences de Vincennes (Année 1826).

On se rappelle que le poids de l'affût s'élevait à 129 kilogrammes, et celui de l'obusier à 100 kilogrammes.

Deux obusiers de 12 centimètres, l'un du poids de 100 ki-

(*) Il est ici question de l'ancienne boîte à balles pesant 6 kilogrammes et contenant vingt et une balles de 42 millimètres.

(**) Cet angle de tir correspond à une hausse de 68 millimètres.

logrammes, l'autre du poids de 94 kilogrammes, furent mis en expérience.

L'affût à flèche pesait $54^{kil},50$; les roues pesaient $42^{kil},50$; le poids de l'ensemble était de 97 kilogrammes.

On employa la charge de 275 grammes (9 onces).

Vingt coups furent tirés avec des boulets de 12 ayant le même calibre que l'obus, et un poids de moitié plus considérable.

Vingt autres coups furent tirés, à défaut d'obus, avec des boulets de 8 ayant le poids de l'obus, et en faisant usage d'un sabot du calibre de l'âme de l'obusier.

Le tir fut exécuté horizontalement et sous les angles de 14 degrés au-dessus de l'horizon, et de 9 degrés au-dessous; les reculs furent, à peu de chose près, les mêmes avec les deux obusiers. Les affûts résistèrent également bien; mais le plus lourd des deux obusiers, ayant plus de stabilité, fut préféré.

Ces expériences, encore satisfaisantes malgré la diminution de poids de toutes les parties du système, malgré l'accroissement de poids du projectile et l'augmentation des angles de tir, furent considérées comme concluantes en faveur de l'obusier et de son affût; on s'occupa alors de déterminer le mode de transport de la bouche à feu et des munitions.

Expériences de Bayonne, de Grenoble et de Perpignan (Année 1826).

Les expériences à ce sujet furent faites simultanément à Bayonne, à Grenoble et à Perpignan; les trois Commissions tombèrent d'accord pour adopter le transport à dos de mulet, d'après les bases suivantes :

Transport à dos de mulet.

1°. La bouche à feu, placée sur la partie supérieure du bât, forme le chargement d'un mulet.

2°. L'affût, placé de la même manière, une roue de chaque côté du bât, forme le chargement d'un mulet.

3°. Les munitions, dans deux caisses placées de chaque côté du bât, forment le chargement d'un mulet.

A Grenoble, trois espèces de bâts furent mis en essai,

savoir : le bât de Grenoble, le bât de Digne, le bât de Seyne. L'infériorité du second fut promptement constatée, et les essais ne portèrent plus que sur le premier et le troisième : ce dernier, le bât de Seyne, fut reconnu préférable et susceptible d'être utilisé, en cas d'urgence; seulement, il faut modifier ses parties extérieures pour qu'il puisse recevoir les trois chargements.

A Perpignan, les épreuves commencèrent avec trois bâts du pays, et trois bâts construits sur un modèle établi par la Commission, garnis en bourre de poils de bœuf, à la manière française. Ni les uns ni les autres ne donnèrent de bons résultats. On leur substitua six bâts garnis suivant le procédé dit *Catalan*, c'est-à-dire avec de la bourre de laine (résidu du cardage des draps) peu tassée et piquée avec la carcasse du bât; ils furent d'un très-bon usage.

A Bayonne, on essaya comparativement le bât espagnol rembourré en laine, et un bât à panneaux rembourré en crin; ce dernier occasionna des blessures nombreuses, et la Commission préféra le bât espagnol.

On avait donc, en définitive, à se prononcer entre le bât de Seyne (Commission de Grenoble), le bât à la catalane (Commission de Perpignan), et le bât espagnol (Commission de Bayonne).

L'opinion qui prévalut alors fut qu'il n'y avait pas lieu de faire un choix, et qu'il était inutile d'adopter un modèle de bât unique, par la raison que les équipages de montagne devant s'organiser dans les pays voisins du théâtre de la guerre, il convenait de se rapprocher, autant que possible, des usages de ces pays, tant à cause des habitudes des ouvriers qu'en raison de l'espèce des mulets.

On se borna, en conséquence, à adopter les dispositions que les Commissions avaient jugées nécessaires, à l'extérieur des bâts, pour placer et maintenir les diverses parties du chargement; quant à l'ouverture et à la forme des arcades,

elles restèrent différentes afin de permettre l'emploi, sur chaque frontière, de la garniture intérieure usitée dans la localité et reconnue comme la plus avantageuse.

Transport par le traînage.

Le transport par le traînage fut aussi essayé et donna lieu aux remarques suivantes.

A Grenoble et à Bayonne, les Commissions objectèrent que la cheville ouvrière s'échappe quelquefois pendant la marche; en outre, dans les chemins rocailleux et rapides, les mulets sont plus fatigués que par le transport à dos; enfin, lorsque l'affût verse, la limonière est souvent brisée, ou le mulet renversé.

La Commission de Perpignan, après avoir constaté les mêmes faits, ajouta : La fixité de la limonière rend l'affût versant, parce que dans les tournants l'une des roues est soulevée; la limonière est embarrassante pour l'exécution de la bouche à feu; dans le transport à dos, elle augmente le poids du chargement qu'elle complique. Enfin, la Commission émit l'opinion que des leviers convenablement adaptés à la crosse de l'affût étaient suffisants pour les cas où il faut traîner l'artillerie de montagne; elle concluait, en conséquence, à la suppression de la limonière.

Caisses à munitions.

Après quelques essais sur des caisses à munitions de formes diverses, on en adopta de longues et étroites, comme plus favorables à la stabilité du chargement et au passage dans des défilés resserrés; la capacité de ces caisses fut déterminée par la condition de ne pas trop charger le mulet qui en portait deux, une de chaque côté du bât, contenant chacune huit coups à obus ou mille cartouches d'infanterie.

La boîte à balles ne figurait pas alors dans le chargement des munitions, parce que, comme on l'a dit plus haut, les expériences de Douai avaient limité à 200 mètres l'efficacité complète du tir à mitraille.

Adoption

Enfin, le 17 mai 1828, le Ministre de la Guerre adopta le

matériel d'artillerie de montagne composé ainsi qu'il suit : d'un matériel de montagne.

Une bouche à feu unique, l'obusier de 12 centimètres;

Un affût à flèche, avec essieu en bois;

Une caisse à munitions contenant huit coups à obus placés verticalement sur un seul rang, ou mille cartouches d'infanterie;

Des bâts de différents modèles, suivant la frontière où se formerait l'équipage.

Pour armements et assortiments, il y avait :

Le levier portereau — l'écouvillon-levier — l'enrayure — le sac à charge, le sac à étoupilles et l'étui à lances de l'artillerie de campagne.

A peine ce système d'artillerie de montagne était-il adopté, que l'occasion s'offrit de le soumettre à l'expérience de la guerre.

Pendant l'expédition de Morée (août 1828), on eut sujet de regretter la limonière, et l'on reconnut que la faculté d'atteler l'affût était un avantage dont il était important que l'artillerie de montagne ne fût pas privée.

D'autres parties du matériel furent aussi l'objet d'observations qui se trouvèrent confirmées dès l'origine de la guerre d'Afrique. Ces indications de l'expérience ne tardèrent pas à être mises à profit, et, à la fin de 1830, le matériel reçut les modifications suivantes :

Modifications du matériel depuis 1828.

Adoption de la limonière; par suite, modification de la crosse de l'affût et modification du harnais du mulet, pour le rendre propre à l'attelage;

Emploi des boîtes à balles dans la proportion de cinq coups par obusier, ces cinq coups renfermés dans une caisse à munitions;

Ensabotage de l'obus, exécuté de manière que la fusée soit dans l'axe de l'obusier (*).

(*) Primitivement, la fusée était inclinée à 45 degrés, et il arrivait que, dans le chargement, la fusée touchant les parois de l'âme empêchait d'enfoncer l'obus.

Augmentation dans la hauteur des caisses, de 15 millimètres, résultant de la nouvelle position de la fusée;

Refouloir à godet placé à l'extrémité de la hampe de l'écouvillon.

Forge portative (10 mai 1831).

Dès l'année 1824, on avait pensé à emprunter à la cavalerie prussienne l'usage d'une forge, portative à dos de cheval. Un modèle construit en 1825 à l'arsenal de Douai servit, après plusieurs corrections, à établir quatre forges qui furent essayées, en 1826, au camp de Lunéville, et dont le transport fut trouvé sans inconvénient aux allures du trot et du galop, et même dans le saut du fossé : mais le poids total du chargement était de 128 kilogrammes, savoir :

	kil
Caisse de la forge	58,00
Caisse d'outils et de charbon	58,00
Bloc de bigorne	12,00
	128,00

En conservant les mêmes dispositions dans l'ensemble, on parvint, par des améliorations de détail, à réduire le poids total à 85 kilogrammes, savoir :

	kil
Caisse de la forge	36,50
Caisse d'outils	36,50
Sacoche à charbon	12,00
	85,00

Dès lors, la forge devenait transportable à dos de mulet, et elle fut adoptée pour le service de la cavalerie et des batteries de montagne.

Le matériel reçut encore, postérieurement, les améliorations suivantes :

Modifications du 16 mai 1837.

Addition de crampons aux fusées d'essieu pour accrocher des bricoles;

Réduction de la longueur du dégorgeoir, de 190 à 120 millimètres;

Réduction de la hauteur du sac à charges, de 350 à 250 millimètres;

Augmentation de 10 millimètres dans la hauteur du corps d'affût, mesure prise depuis le derrière de l'essieu; Modifications du 24 octobr. 1840.

Même augmentation dans la hauteur du corps d'essieu;

Même augmentation dans le diamètre extérieur de toutes les parties du moyen de la roue;

Adoption d'une boite de roue en bronze de 6 millimètres d'épaisseur, en remplacement de deux boites en fer;

Adoption d'une bande-lunette placée sous le corps d'affût, l'ouverture de la lunette correspondant au trou de la vis de pointage.

Dès l'année 1840, il avait été fait des essais en Afrique, pour remédier aux inconvénients reprochés aux boites à balles et à leur répartition dans les caisses à munitions. Modifications du 4 octobre 1844. Nouvelle boite à balles.

La boite à balles, dont le poids s'élevait à un peu plus de 6 kilogrammes, donnait des reculs considérables et fatiguait l'affût.

Elle exigeait une disposition particulière de la caisse à munitions, à l'intérieur.

L'approvisionnement adopté étant d'une caisse de boites à balles par obusier, les deux caisses d'une section composaient le chargement d'un mulet. Il résultait de là que, dans le cas où les deux pièces de la section se séparaient, il y en avait une qui se trouvait dénuée de cartouches à balles; il en résultait encore, lorsque la section était réunie, que le mulet portant la mitraille était souvent trop éloigné pour que le tir à balles pût s'exécuter au moment opportun, parce qu'on ne fait généralement suivre l'obusier que par

un seul mulet, afin d'abriter les autres, autant que possible, du feu de l'ennemi.

On proposa, pour remédier à ces inconvénients, d'employer l'ancienne balle de 4, de 26^{mm},5 de diamètre, pesant 70 grammes, et de supprimer les caisses pour boîtes à balles, en mettant une cartouche à balles dans chaque caisse à obus, qui alors ne contenait plus que sept charges à obus.

Dans les expériences faites à la Fère, Metz et Strasbourg, en 1842, la nouvelle boîte à balles ne présenta pas de supériorité sur l'ancienne, quant à la distance à laquelle le tir à mitraille a le plus d'efficacité; mais, sous tous les autres rapports, elle parut préférable, et fut adoptée.

Voici les résultats moyens du tir et les principaux renseignements sur cette boîte à balles.

DISTANCES.	HAUSSES.		RECUL.	AU BUT *.	PÉNÉTRATION dans le sapin.	OBSERVATIONS.
	Degrés.	Millim.	m		mm	
100 mètres..	$\frac{1}{2}$	3	6,40	20,00	65	* Les nombres de cette colonne sont les moyennes pour un coup ou 42 balles. Le but avait 25 mètres de largeur et 1^m,80 de hauteur.
200 mètres..	1 $\frac{3}{4}$	18	7,49	11,03	56	
300 mètres..	3	37	5,78	6,40	34	
400 mètres..	5	61	5,71	5,53	18	

Les balles sont celles sans numéro, dites de 4; elles ont pris le n° 6 *bis*.

Diamètre.................................... 26^{mm},50.
Poids.. 70^{gr},00.
Nombre { de balles par couche { 10 à la circonf... / 4 au centre..... } 14,00.
Nombre { de couches.......................... 3,00.
Nombre { des balles de la boîte.................. 42,00.
Hauteur de la boîte terminée.................. 166^{mm},00.
Poids de la boîte (sabot en peuplier)............ 4^{kil},31.

Charge de poudre (comme pour l'obus)........	0^{kil},27.
Poids de la cartouche terminée................	4^{kil},60.
Hauteur de la caisse à munitions { extérieurement..	260^{mm},00.
{ intérieurement..	244^{mm},00.

Cette hauteur est ainsi augmentée de 16 millimètres.

Les dernières modifications adoptées sont les suivantes :

La plaque du dessus de crosse est réunie en une seule ferrure avec le bout de crosse. Modifications du 13 decem. 1846.

On adopte deux rondelles de bout d'essieu et, par suite, on allonge les fusées de 4 millimètres.

On renforce la bande de support de la limonière, et la cheville ouvrière.

Les bras de la limonière sont consolidés par une bandelette en tôle roulée en spirale, tant plein que vide.

On avait craint, à l'origine, que la lumière percée dans le bronze ne présentât pas une résistance suffisante, et l'on avait proposé de mettre un grain de lumière à l'obusier; mais toutes les expériences, notamment celles de Douai en 1825, dans lesquelles la lumière fut trouvée intacte après six cents coups tirés à chambre pleine, rassurèrent complétement à cet égard. Modifications rejetées. Grain de lumière.

Peu de temps après l'adoption du matériel de montagne et avant les perfectionnements apportés à quelques-unes de ses parties, on avait reconnu un défaut de solidité à l'essieu en bois, que l'on avait proposé de remplacer par un essieu en fer creux. Les fusées de cet essieu étaient cylindriques, ce qui permettait de retourner les roues, le petit bout du moyeu contre l'affût, et de diminuer ainsi, au besoin, la voie de 243 millimètres. Essieu en fer creux.

Des expériences faites à Vincennes en 1832 démontrèrent que l'essieu en fer creux, porté successivement aux poids de 12, 14 et 17 kilogrammes, ne présentait pas une résistance égale à celle de l'essieu en bois de 12 kilogrammes.

Il fut, en conséquence, rejeté.

Crochets et lanières porte-armements.

On avait proposé de substituer des lanières aux crochets porte-armements, comme offrant plus de garanties.

Les Commissions formées à Alger, Oran et Constantine ont constaté que les crochets valent les lanières pour la conservation des armements; qu'en outre, ils sont plus solides, et plus favorables à la rapidité de la manœuvre.

Modèle de bât.

Les expériences faites en 1826 avaient fait reconnaître que les bâts de nos pays de montagne peuvent servir au transport des caisses à munitions; qu'un arçon particulier n'était indispensable que pour le transport de la bouche à feu et de l'affût, et que cet arçon devait en même temps permettre l'emploi du mode de rembourrage reconnu le meilleur sur chacune des frontières des Alpes et des Pyrénées.

Un modèle d'arçon fut, en conséquence, adopté pour chacune de ces frontières; les parties communes étaient :

Deux arcades..................	en bois.
Deux entretoises................	en bois.
Deux planchettes................	en bois.
Une bandelette à crochets de devant	en fer.
Une bandelette à crochets de derrière	en fer.
Un anneau de bandelette de derrière	en fer.
Un crampon de bandelette de derrière	en fer.

Le bât des Alpes a les arcades d'une forme plus cintrée que le bât des Pyrénées; leur ouverture est de 56 centimètres environ. Le rembourrage est composé de paille de seigle; puis, d'une toile de matelassure dans laquelle on introduit la bourre au moyen de fentes pratiquées dans cette toile de chaque côté du bât. La bourre est composée de poils de bœuf ou de veau; la bourre blanche est la meilleure.

Le bât des Pyrénées a la courbure des arcades moins prononcée; leur ouverture est d'environ 68 centimètres.

Le rembourrage est apparent et n'est pas recouvert d'une toile de matelassure; il est en contact immédiat avec le dos du mulet, et se compose de bourre provenant de la tonte ou du cardage des étoffes de laine (*); on l'enfonce avec un refouloir en fer, sous les bords repliés de la paillasse qui forme, comme dans le bât des Alpes, la partie de la garniture en contact avec l'arçon. Lorsque la bourre, placée par couches successives, a atteint l'épaisseur convenable, on l'assujettit aux quatre coins du bât par un point de bâtier; on la dégage un peu à la croupe et au garrot; puis, on ajuste le bât sur le mulet; on achève d'assujettir la bourre par de nouveaux points de bâtier, quand elle est un peu affaissée par l'usage et que le dos du mulet y a fait son logement.

Lorsque les deux espèces de bâts que l'on vient de décrire sommairement furent employés en Afrique avec des mulets qui n'étaient pas accoutumés à les porter, et des hommes qui n'étaient pas exercés à s'en servir, ils ne présentèrent plus les avantages qu'on leur avait reconnus en en faisant usage dans des conditions différentes. On reprocha au rembourrage du bât des Pyrénées de n'être pas assez solidement maintenu; et, dès 1834, on essaya d'éviter la perte de la bourre en la recouvrant d'une toile de matelassure, disposition qui rapprochait beaucoup le bât des Pyrénées de celui des Alpes.

On reprochait aussi à l'un et l'autre de ces bâts d'avoir un rembourrage de forme continue, n'offrant pas assez de logement pour le garrot et l'épine dorsale, et occasionnant, par conséquent, le genre de blessures qu'il est le plus important d'éviter.

(*) On doit éviter d'employer la laine neuve, ou tout au moins ne pas dépasser la proportion d'un quart.

Les essais pour remédier à ces inconvénients produisirent une assez grande variété dans les bâts employés en Afrique, de sorte qu'en 1839 il y en avait de cinq modèles dans une même batterie.

D'ailleurs, les avantages que l'on s'était promis étaient annulés par cela seul que l'une et l'autre espèce de bâts se trouvait étrangère aux usages du pays dans lequel on faisait la guerre; il ne restait que les embarras attachés au défaut d'uniformité.

Les considérations qui ont obligé à abandonner les bâts des Alpes et des Pyrénées et qui ont motivé leur remplacement par le bât à panneaux, ne doivent pas les faire condamner d'une manière absolue, ni laisser oublier les résultats favorables que l'on avait obtenus, lors des expériences faites en 1826, dans les Alpes et les Pyrénées. Le mode de chargement, inévitable pour l'obusier, qui place le fardeau au point le plus élevé du bât, la nécessité d'employer dans les batteries de montagne des hommes étrangers aux soins que tel ou tel modèle exige, ont conduit à reprocher, en Afrique, aux bâts des Alpes et des Pyrénées, des défauts qui ne se manifestent pas dans les circonstances ordinaires où l'on en fait usage; on en tirera encore d'excellents services, toutes les fois que l'on aura des mulets accoutumés à les porter et des hommes exercés à les entretenir.

Voici quelques faits qui confirment cette assertion et qui sont empruntés à la campagne de 1823.

Deux batteries de montagne furent organisées à Toulouse pour l'armée d'Espagne : l'une, composée de trois canons de 4 et de trois obusiers de 12 centimètres, fut conduite à Bayonne par des soldats du train; les mulets arrivèrent tellement blessés qu'ils ne purent passer outre, et la batterie ne rendit aucun service. L'autre batterie, composée de six obusiers, fut transportée par le roulage de Tou-

louse à Perpignan, où elle reçut une brigade de mulets, conduits par des muletiers du pays. Cette batterie fit toute la campagne de Catalogne avec le 4ᵉ corps, dont elle seconda heureusement les opérations (*).

Quelque temps après l'entrée en campagne, on organisa trois brigades de 70 mulets chacune, pour le transport des cartouches d'infanterie du 4ᵉ corps. Ces trois brigades parcoururent toute la Catalogne pendant les mois de juin, juillet et août, et eurent très-peu de mulets blessés.

Les conducteurs étaient des hommes accoutumés à panser, à conduire et à charger les mulets; leur habillement se composait d'une capote, d'une veste, d'un pantalon de drap, d'un pantalon de toile, et d'une casquette; ils recevaient 1 franc 80 centimes par jour, et avaient à pourvoir au remplacement de leurs effets d'habillement et de linge et chaussure.

Les bâts étaient rembourrés suivant la méthode catalane, plus favorable qu'aucune autre à l'égale répartition du fardeau, parce que l'absence de toile de matelassure permet au rembourrage de se mouler sur le dos de l'animal.

Les soins principaux, en route, consistaient à exposer le rembourrage au soleil après avoir débâté, à le battre légèrement avec une baguette, et à briser avec les doigts les parties que la sueur avait agglomérées et durcies.

Si, pendant la marche, le conducteur s'apercevait que le garrot était trop serré, il enlevait un peu de bourre, et donnait ainsi la liberté de garrot suffisante; il employait le même procédé pour le dos et les reins.

Malheureusement, l'emploi de brigades de muletiers exercés doit être considéré à la guerre comme un cas excep-

(*) Mémoire du général Berge.

tionnel; il faut que le matériel soit calculé d'après ce qu'on peut attendre des soldats tels que le recrutement les donne.

C'est pour cela qu'il parut préférable d'employer un bât unique, construit en mettant à profit toutes les leçons de l'expérience, et cette mesure devint l'objet d'une décision ministérielle du 28 juin 1840, dont voici les principales dispositions :

Bât à panneaux (28 juin 1840). Les bâts destinés au service de l'artillerie de montagne sont construits, sans distinction d'usage, avec l'arçon uniforme propre au chargement de l'affût et de l'obusier; ils ont quatre planchettes et deux panneaux formés de deux basanes en dessus et de deux toiles de matelassure en dessous.

Le rembourrage est composé de :

kil 4,00 de paille de seigle	pour les deux panneaux.
2,50 de bourre......	
1,50 de crin........	

On l'introduit par une fente pratiquée dans la toile de matelassure, en le disposant comme il suit :

La paille placée sur deux couches; la première, dans le sens de la hauteur du bât; la seconde, dans le sens de la largeur; la bourre placée sur la paille, et le crin sur la bourre.

L'expérience à laquelle ce bât fut soumis en Afrique, motiva quelques changements qui furent l'objet d'une nouvelle décision ministérielle.

Modifications du 21 juillet 1845. Au lieu d'un bât unique, il y a maintenant un bât d'affût et un bât de caisse.

Bât d'affût. Les parties en bois de l'arçon du bât d'affût sont : deux arcades — deux entretoises — six planchettes.

Les parties en fer sont : huit bandelettes d'assemblage

d'arcades — une bandelette à crochets de devant — une contre-bandelette de crochets de devant — un crampon de rênoir — une bandelette à crochets de derrière — une contre-bandelette de crochets de derrière — un crampon de longe de croupière — quatre liens d'arcade.

La garniture du corps du bât se compose de : un faux siége — deux galbes — un recouvrement de siége.

Les panneaux se composent de deux basanes de dessus de panneaux, chacune d'elles doublée par une grosse toile collée à l'intérieur de la basane, et de deux toiles de matelassure en coutil.

Le rembourrage, pour les deux panneaux, est formé de :

	kil
Paille de seigle ou de froment......	4,00
Bourre........................	1,50
Crin........................	2,00

La paille est placée sur une couche, dans le fond des panneaux et dans le sens de la hauteur du bât, la bourre sur la paille et le crin sur la bourre.

Les panneaux sont fixés à l'arçon, chacun par huit lanières en cuir qui traversent la basane et pénètrent dans la paille d'une quantité suffisante pour qu'on puisse les serrer sans déchirer la basane.

Les parties en bois de l'arçon du bât de caisse sont : deux arcades — six planchettes. Bât de caisse.

Les parties en fer sont : une bandelette à crochets de devant — une contre-bandelette de crochets de devant — un crochet rênoir — une bandelette à crochets de derrière — une contre-bandelette de crochets de derrière — un crampon de longe de croupière — deux viroles de contre-bandelette de devant — deux viroles de contre-bandelette de derrière.

La garniture du corps du bât est la même que celle du bât d'affût.

Les panneaux du bât de caisse ne diffèrent des panneaux de bât d'affût que par la diminution de quelques dimensions, et par une moindre quantité de paille employée au rembourrage. Ces diminutions résultent de la différence de hauteur intérieure des deux arçons.

Les panneaux peuvent cependant être employés, au besoin, avec l'un et l'autre bât.

Harnais de bât d'affût et d'attelage.

Le harnais du bât d'affût est disposé pour l'attelage ; il se compose de : un poitrail — une avaloire — un coussinet d'avaloire — une croupière — un surfaix — un surfaix-dossière — deux courroies de retraite — une paire de traits — deux courroies porte-traits.

Le surfaix-dossière et les courroies de retraite s'appliquent à la moitié des bâts; les traits et les courroies porte-traits, à l'autre moitié. Les premiers servent aux attelages de derrière; les seconds, aux attelages de devant.

Harnais du bât de caisse.

Le harnais du bât de caisse se compose de : un poitrail — une avaloire — une croupière — un surfaix.

Garniture de tête.

La garniture de tête des mulets se compose de : un collier — une longe en chaîne étamée — un bridon — une rêne — une olive.

Tir de l'obus à balles avec l'obusier de montagne.

Il a été fait, en 1838 et 1839, des expériences sur le tir de l'obus à balles avec l'obusier de montagne, dans les écoles de Douai, la Fère, Strasbourg, Metz, Toulouse et Rennes.

L'obus contenait soixante-cinq balles d'infanterie de $16^{mm},3$ et 120 grammes de pulvérin; il pesait, chargé et ensaboté, $5^{kil},60$. La charge de l'obusier était la charge ordinaire de 270 grammes.

La fusée employée avait été proposée par le colonel d'artillerie Parrizot. On sait qu'elle est percée de trois trous; suivant qu'on établit la communication avec la charge par le premier, le second ou le troisième, la durée de combustion de la fusée est de 2, 3 ou 4 secondes.

Trois séries d'expériences ont été faites sur ces trois durées de combustion; en voici les résultats :

Première série. (Durée de combustion de 2 secondes.) Des panneaux de sapin, de 27 millimètres d'épaisseur, étaient placés sur trois lignes parallèles, espacées de 50 mètres; l'obusier était à 460 mètres de la première ligne.

Sur 184 obus tirés avec la hausse de 3 degrés, 14 n'ont pas éclaté à distance convenable. Les 170 autres ont éclaté à 401 mètres de la pièce, c'est-à-dire à 59 mètres de la première ligne de panneaux. A chaque coup, il y a eu moyennement 42 balles (*) ou éclats d'obus dans les trois rangs de panneaux; près de la moitié des balles ont traversé les panneaux.

Deuxième série. (Durée de combustion de 3 secondes.) L'obusier était placé à 583 mètres de la première ligne de panneaux.

Sur 185 obus tirés avec la hausse de 4 degrés, 14 n'ont pas éclaté à distance convenable. Les 171 autres ont éclaté à 551 mètres de la pièce, c'est-à-dire à 32 mètres de la première ligne de panneaux. A chaque coup, il y a eu moyennement 33 balles ou éclats d'obus dans les panneaux; près de la moitié des balles ont traversé les panneaux.

Troisième série. (Durée de combustion de 4 secondes.) L'obusier était placé à 708 mètres de la première ligne de panneaux.

Sur 183 obus tirés avec la hausse de 5 degrés, 10 n'ont pas éclaté à distance convenable. Les 173 autres ont éclaté à 678 mètres de la pièce, c'est-à-dire à 30 mètres du premier rang de panneaux. A chaque coup, il y a eu moyennement 19 balles ou éclats d'obus dans les panneaux. Un peu moins de la moitié des balles ont traversé les panneaux.

(*) La boîte à balles en contenait 65.

Ainsi, sur 552 obus tirés, 38 ou environ 7 pour 100 n'ont pas éclaté à distance convenable. Les 514 autres ont projeté chacun, en moyenne, 31 balles ou éclats dont la moitié environ ont traversé les panneaux; ce qui donne un total de 15934 coups plus ou moins meurtriers sur 33924 balles lancées.

Les conséquences à tirer de ces expériences peuvent se formuler comme il suit :

Aux distances comprises entre 450 et 480 mètres, il faut déboucher le premier trou de la fusée, ce qui donne une durée de combustion de 2 secondes, et pointer l'obusier sous l'angle de 2° 30′ à 3 degrés (30 à 38 millimètres).

Aux distances comprises entre 560 et 590 mètres, il faut déboucher le deuxième trou de la fusée, ce qui donne une durée de combustion de 3 secondes, et pointer l'obusier sous l'angle de 3 à 4 degrés (38 à 53 millimètres).

Enfin, aux distances comprises entre 660 et 715 mètres, il faut déboucher le troisième trou de la fusée, ce qui donne une durée de combustion de 4 secondes, et pointer l'obusier sous l'angle de 4 à 5 degrés (53 à 68 millimètres).

On ne doit pas, au reste, oublier que le tir de l'obus à balles de 12 centimètres n'est qu'une partie de la question générale du tir des projectiles creux à balles, question qui n'est point encore définitivement résolue.

Emploi du mortier dans les batteries de montagne.

On a vu précédemment que le mortier de 8 pouces (22 centimètres) avait été autrefois employé dans la guerre de montagne, et que l'expérience n'avait pas été favorable. Aussi, lorsqu'en 1821 on s'occupa de créer un système régulier d'artillerie de montagne, on ne rechercha pas si le mortier devait en faire partie, parce que la question semblait à l'avance résolue négativement.

Mais, depuis l'adoption (1838) du mortier de 15 centimètres, pesant 200 kilogrammes de moins que le mor-

tier de 8 pouces, on a pensé qu'il pouvait y avoir lieu de revenir sur cette exclusion.

On disait, à l'appui de cette opinion : le mortier et son affût, pesant chacun environ 70 kilogrammes, se prêtent au chargement et au transport à dos de mulet, avec au moins autant de facilité que l'obusier de 12 centimètres. Le mortier est en batterie plus rapidement que l'obusier; son tir présente de l'avantage pour les feux plongeants, et toutes les fois que le terrain qu'il faut battre a un commandement un peu considérable sur la batterie.

Mais on faisait valoir aussi de sérieuses objections : le mortier, disait-on, a l'inconvénient que présentait l'obusier avant qu'on fût revenu à la limonière, celui de ne pouvoir être transporté qu'à dos de mulet ou à bras; il a même cet inconvénient à un degré plus prononcé, puisque son affût n'est pas à rouage. L'exécution de cette bouche à feu est plus longue que celle de l'obusier, parce que la charge est composée de deux parties séparées; et, comme chaque coup à bombe pèse environ 3 kilogrammes de plus qu'un coup à obus, la quantité de munitions qu'un mulet peut porter se trouve réduite de plus d'un tiers.

Malgré ces objections, on essaya de faire entrer le mortier dans les batteries de montagne, et voici un fait qui est arrivé en Afrique, au mois d'avril 1844.

Dans une expédition contre les Ouled-Sultan, la colonne se trouva subitement enveloppée d'un brouillard épais, et les Arabes en profitèrent pour s'approcher à faible distance.

Une section composée d'un mortier et d'un obusier reçut l'ordre d'aller soutenir l'arrière-garde qu'elle ne put parvenir à rejoindre, parce que le terrain qui l'en séparait était occupé par l'ennemi; elle s'établit avec une compagnie d'infanterie sur un mamelon où, pendant plus d'une heure, elle eut à soutenir un feu très-vif. A cause de la proximité de l'ennemi, il fallut coucher le mortier sur son

affût et le tirer à charges constantes, sans produire beaucoup d'effet, parce que l'angle de tir était encore trop considérable.

Le mortier fut alors plus embarrassant qu'utile; car il empêcha un changement de position qui n'était possible qu'en groupant les canonniers pour le transport à bras ou le chargement sur le mulet, ce qui eût augmenté les dangers de la situation déjà fort périlleuse, puisque l'officier commandant la section fut blessé, que trois canonniers furent tués et trois autres atteints plus ou moins grièvement.

En définitive, sans méconnaître les avantages que l'on peut retirer de l'emploi du mortier dans certaines circonstances de la guerre de montagne, les considérations qui l'avaient fait écarter ont jusqu'à présent prévalu.

Personnel des batteries de montagne.

La guerre de montagne n'ayant jamais été qu'un cas particulier des grandes luttes que la France a eues à soutenir en Europe, on n'a pas songé à rendre permanentes les batteries qui y sont spécialement affectées. On les forme au moment du besoin, par la transformation de batteries montées dont on retire les chevaux de trait. L'armement et l'équipement des conducteurs reçoivent les changements nécessités par ce nouveau service.

On classe dans les batteries de montagne, les hommes originaires des contrées où le mulet est habituellement employé. Il faut que les servants soient vigoureux et d'une taille assez élevée pour pouvoir facilement charger l'obusier sur le bât. Les conducteurs doivent être exercés à la marche, habitués à conduire les mulets et familiarisés avec les soins à donner aux animaux, aux bâts et au harnachement.

Le service des sous-officiers exige une très-grande activité; la surveillance pendant la marche, les soins à prendre à l'arrivée et au départ, les obligent à être constamment sur pied. Souvent ils sont détachés en avant de la colonne

ou sur les flancs pour reconnaître les passages, ou pour ramasser du fourrage avec quelques conducteurs et quelques mulets. Aussi a-t-on généralement admis en Afrique, qu'il y avait, sinon nécessité, au moins grande convenance à monter les sous-officiers. Dans l'application, ce principe n'est pas absolu, on se décide d'après les ressources et la nature du pays.

L'effectif d'une batterie de montagne résulte des bouches à feu à servir et du matériel à transporter. Le matériel, invariable quant au nombre de bouches à feu (*), se modifie, suivant les circonstances, quant au nombre des rechanges et des caisses à munitions pour obusier ou pour cartouches d'infanterie.

Il est rare que la guerre de montagne permette l'emploi d'une batterie réunie; le plus souvent, les sections agissent isolément, et il faut alors que chacune d'elles possède les moyens nécessaires pour les rechanges, pour les réparations du matériel et du harnachement, et pour le ferrage.

Le nombre d'hommes et de mulets d'une section se détermine d'après la quantité de cartouches d'infanterie à transporter, d'après les ressources du pays que l'on doit parcourir pour la nourriture des hommes et des bêtes, et d'après la durée présumée de l'expédition.

Le matériel des batteries de montagne employées en Morée se composait de :

6 obusiers;
8 affûts;
84 caisses de cartouches à obus;
20 caisses de cartouches d'infanterie;
8 caisses d'outils et de rechanges.

(*) La batterie de montagne normale est calculée dans tous ses éléments pour six obusiers; mais il est arrivé souvent en Afrique qu'une batterie fournissait plus de trois sections.

Le personnel se composait d'une compagnie d'artillerie à pied sur le pied de guerre (100 hommes) et d'une compagnie du train. Il y avait 75 mulets, dont 5 haut le pied.

En 1837, lors de l'expédition de Constantine, le matériel se composait de :

6 obusiers;
8 affûts;
1 forge;
124 caisses de cartouches à obus;
30 caisses de cartouches d'infanterie;
14 caisses d'outils et de rechanges.

Le personnel se composait d'une batterie montée sur le pied de guerre ou 212 hommes. Il y avait 100 mulets, dont 2 haut le pied.

Le nombre des caisses transportées avec cet effectif en mulets, donnait un approvisionnement de :

165 coups par obusier;
30 000 cartouches d'infanterie.

Dans d'autres circonstances, on a porté l'effectif à 120 mulets, en conservant pour les sous-officiers et canonniers, l'effectif de la batterie montée sur le pied de guerre, c'est-à-dire 212 hommes.

Voici un exemple de la répartition de cet effectif entre les sections, la première ligne et la réserve.

Désignation des grades	1re section.		2e section.		3e section.		Totaux.	
	Hommes.	Chevaux et mulets.	Hommes	Chevaux et mulets.	Hommes.	Chevaux et mulets.	Hommes.	Chevaux et mulets.
Première ligne.								
Capitaine	1	3	″	″	″	″	1	3
Lieutenant	1	2	″	″	1	2	2	4
Adjudant	″	″	1	1	″	″	1	1
Maréchaux des logis	2	2	2	2	2	2	6	6
Brigadiers	3	″	3	″	3	″	9	″
Artificiers	1	″	1	″	1	″	3	″
Servants	10	″	10	″	10	″	30	″
Conducteurs	20	19	20	19	20	19	60	57
Trompettes	1	1	1	1	1	1	3	3
Réserve.								
Capitaine en second	1	3	″	″	″	″	1	3
Maréchal des logis chef	1	1	″	″	″	″	1	1
Maréchaux des logis	1	1	″	″	1	1	2	2
Fourriers	1	1	″	″	1	1	2	2
Brigadiers	1	″	1	″	1	″	3	″
Artificiers	1	″	1	″	1	″	3	″
Servants	10	″	10	″	10	″	30	″
Conducteurs	17	21	16	21	17	21	50	63
Ouvriers	2	″	1	″	1	″	4	″
Maréchaux ferrants	1	″	1	″	1	″	3	″
Bourreliers	1	1	″	″	1	″	2	1
Total des officiers	3	″	″	″	1	″	4	″
Total des s.-offi. et canon.	73	″	68	″	71	″	212*	″
Total des chevaux d'officier	″	8	″	″	″	2	″	10
Total des chevaux de troupe	″	7	″	4	″	5	″	16
Total des mulets	″	40	″	40	″	40	″	120

* Dans cet effectif n'est pas compris le vétérinaire qui habituellement est attaché à la réserve de la batterie.

Cette décomposition de l'effectif de la batterie affecte 57 mulets à la première ligne, à raison de 19 par section, et 63 à la réserve; ces mulets sont employés comme il suit :

Emploi des dix-neuf mulets de chaque section :	NOMBRE de mulets.
2 obusiers	2
3 affûts	3
12 caisses de cartouches à obus	6
6 caisses de cartouches d'infanterie	3
4 caisses d'approvisionnements et de rechanges	2
Haut le pied	3
Total	19
Emploi des soixante-trois mulets de la réserve :	
70 caisses de cartouches à obus	35
28 caisses de cartouches d'infanterie	14
Forges et caisses d'outils	3
Registres et comptabilité	2
Effets de linge et chaussure	2
Effets à l'usage du bourrelier	1
2 caisses d'approvisionnements	1
Haut le pied	5
Total	63

Le matériel de la batterie se compose dans cet exemple de :

6 obusiers	6
9 affûts	9
106 caisses à munitions	53
46 caisses de cartouches d'infanterie	23
14 caisses d'approvisionnements	7
16 caisses pour la forge, la comptabilité, les effets de linge et chaussure	8
Haut le pied	14
Total	120

Chaque section porte 48 coups par obusier et 6000 cartouches d'infanterie; il existe, en outre à la réserve, 93 coups par obusier et 28000 cartouches d'infanterie; de sorte que l'approvisionnement total est de 141 coups par obusier, et de 46000 cartouches d'infanterie.

Quand il faut transporter des cartouches d'infanterie en quantité plus considérable, on organise des brigades spéciales de mulets, comme on l'a déjà fait dans les guerres d'Italie et d'Espagne, en réglant leur effectif d'après les besoins. Ces brigades ont quelquefois compté jusqu'à 150 mulets portant environ 300000 cartouches; mais un effectif aussi élevé ne serait pas sans inconvénients si l'on avait à faire un trajet considérable, à parcourir un pays difficile, et à approvisionner des corps disséminés. Celles que le général Berge organisa, en 1823, pour le transport des cartouches du 4e corps de l'armée d'Espagne, avaient chacune 70 mulets, et cet effectif paraît être le plus convenable pour ce genre de service.

Armements, approvisionnements, rechanges.

Le tableau suivant présente le nombre et l'espèce des armements et rechanges dont il est bon que la batterie soit pourvue :

DÉSIGNATION des objets.	DANS les trois sections.	A la réserve.	TOTAL	OBSERVATIONS
Limonières	12	"	12	
Leviers	9	"	9	Un par affût.
Écouvillons	9	"	9	Un par affût.
Bricoles	30	"	30	Quatre par obusier. Deux p. affût de rechange.
Tire-feu, sac à étoupilles et dégorgeoirs (de chacun)	9	1	10	Six aux obusiers. Quatre dans les caisses d'approvisionnements.
Dégorgeoirs à vrille	3	1	4	Dans les caisses d'approvisionnements
Lanières	36	12	48	Id.
Boîtes à graisse	3	1	4	Id.
Esses de rechange, rondelles, bandes de support de limonière, manchon de bout d'essieu (de chacun)	6	2	8	Id
Lanternes, livres de bougie, Briquets (de chacun)	3	1	4	Id.
Clefs doubles à écrou	3	1	4	Id.
Masses en fer	6	2	8	Id.
Hausses	12	2	14	Huit dans les caisses d'approvisionnements. Six aux obusiers.
Pelles et pioches (de chacune)	24	12	36	Attachées aux caisses.

Effets de linge et chaussure. Le chargement des caisses destinées au transport des effets de linge et chaussure, est nécessairement variable selon la durée de l'expédition; on peut admettre comme suffisant un approvisionnement d'une paire de souliers pour cinq hommes. Il faut se munir de tout ce qui est nécessaire aux tailleurs et aux cordonniers pour les menues réparations.

Caisses à l'usage des bourreliers. L'approvisionnement suivant a été suffisant pour une batterie, ayant 120 mulets, pendant une expédition de quarante jours. Le poids était de 90 à 100 kilogrammes :

Cuir noir (kilogrammes)	5,50
Cuir blanc.... (*id.*)	5,50

Basane pour panneaux (kilogrammes)	4,00
Toile pour panneaux (mètres)	8,00
Boucles assorties (nombre)	80,00
Anneaux assortis (nombre)	15,00
Clous assortis (kilogrammes)	2,00
Tôle pour arcades. (*id.*)	1,00
Ficelle (*id.*)	1,00
Cire (*id.*)	0,50
Traits (nombre)	6,00
Bourre ($\frac{1}{2}$ kilogramme par mulet)	60,00
Vieux cuirs (provenant de harnais réformés) (kilog.).	4,00

Les caisses d'approvisionnements de chaque section doivent, en général, renfermer ce qui lui est nécessaire en la supposant isolée. Caisses d'approvisionnements.

Voici le chargement qui peut être adopté :

1 clef à écrou;
2 hausses;
12 lanières;
2 esses, deux rondelles;
2 bandes de support de limonière;
2 manchons de bout d'essieu;
1 kilogramme de vieux oing;
1 lanterne, 1 livre de bougie, 1 briquet;
1 tire-feu;
1 doigtier;
1 dégorgeoir ordinaire, 1 à vrille;
2 spatules, 2 crochets à désétouper;
4 arcades de bâts débitées;
4 planchettes;
2 entretoises;
2 kilogrammes de menus cordages;
1 poitrail, 1 collier, 2 bridons, 2 surfaix;
2 mètres de toile à panneaux;
1 boîte de médicaments pour les hommes et les mulets.

Réception du matériel.

Le matériel de montagne, lorsqu'il est livré par les arsenaux, doit être examiné dans tous ses détails, comme il est indiqué dans l'*Aide-mémoire* (page 305) (*) pour une batterie de campagne. Il est bon de s'assurer, en outre, que toutes les limonières s'adaptent facilement à tous les affûts.

Préparatifs pour le départ.

Le matériel, après avoir été examiné et reçu, est réparti entre les sections, et ensuite entre les pièces.

Chaque chef de pièce doit inscrire sur un livret qui reste entre ses mains, l'état du matériel qui lui est remis, pour lequel il remplit les fonctions de garde; il tient à jour l'état des entrées et sorties qui concernent ce matériel.

Chaque chef de section procède de même pour sa section.

Le capitaine en second vérifie l'état et le chargement des munitions.

Le capitaine commandant désigne les mulets de pièce et d'affût; il les choisit parmi ceux qui sont en même temps vigoureux, doux sans être paresseux, et de taille peu élevée, afin de rendre le chargement plus facile. Il désigne les postes des servants, de manière que les plus grands et les plus forts aient à charger l'obusier et l'affût.

On essaye les bâts aux mulets, on refait les rembourrages défectueux, et l'on se prépare à la marche par des promenades militaires avec armes et bagages.

Les chefs de pièce font attacher les pelles et les pioches aux caisses qui ne renferment pas de munitions; ils font disposer les effets de campement près des caisses avec lesquelles ces effets doivent être chargés; et, s'il est nécessaire d'emporter du fourrage, ils font confectionner les bottillons et remplir les sacs d'orge ou d'avoine.

Ils s'assurent qu'il existe un approvisionnement de deux fers et de douze clous par mulet.

(*) *Aide-mémoire* à l'usage des officiers d'artillerie, seconde édition, 1844.

Lorsque l'ordre en est donné, les servants chargent les mulets de leurs pièces, en commençant par les mulets de caisses; les ouvriers et les maréchaux ferrants chargent les caisses d'outils et la forge. Départ et marche avec le matériel porté.

Les bottillons et les sacs à avoine sont suspendus aux crochets des bandelettes.

Les ustensiles de cuisine se placent en travers sur le bât des mulets portant les caisses d'approvisionnements.

Il est de la plus grande importance que les chargements soient faits avec beaucoup de soin; la charge doit être également répartie sur les deux côtés du bât, solidement reliée avec lui de manière à éviter les ballottements, et disposée de façon à ne pas gêner l'ouverture des caisses à munitions.

Pour restreindre, autant que possible, la longueur des colonnes, on doit marcher en bataille toutes les fois que cela est praticable, alors même qu'il serait nécessaire de réduire les intervalles à moitié, c'est-à-dire à $3^{m},50$; dans cet ordre, les chefs de section et trois chefs de pièce (un par section) marchent en tête; les servants de chaque pièce se partagent par moitié, entre la première ligne et la réserve avec laquelle marchent les trois autres chefs de pièce.

Des dispositions analogues sont adoptées dans la marche par section.

Quand un défilé se resserre au point d'obliger à marcher par un, les sous-officiers s'échelonnent sur les flancs pour activer la marche et empêcher toute interruption dans la colonne.

Dans la marche par un, il importe d'avoir un conducteur par mulet; il faut éviter d'accoupler ces animaux, surtout dans les passages difficiles.

Si un mulet s'abat, et si l'on ne juge pas nécessaire de le décharger, il faut que le conducteur lui maintienne la tête près de terre, et l'empêche de se relever jusqu'à ce que les servants soient en mesure de l'aider en soulevant le charge-

ment; sans cette précaution, le mulet serait exposé à des efforts de reins qui le mettraient hors de service.

A la première halte, le chargement est examiné avec attention et rectifié s'il y a lieu.

Si la durée de la halte permet de soulager les mulets en les déchargeant, il faut aussi les dessangler un peu; mais, avant de reprendre la marche, il faut dessangler tout à fait, soulever le bât, replacer la couverture et sangler de nouveau; sans cette précaution, il arriverait souvent que la couverture, dérangée lorsque le bât a été dessanglé, ferait des plis et blesserait le mulet.

Marche avec le matériel attelé.

Lorsque l'obusier est attelé, un servant se sert de l'écouvillon engagé dans l'âme pour aider la pièce à franchir les obstacles, et pour l'empêcher de verser.

Si cet accident arrive et que le mulet ait été renversé, il faut séparer la limonière de l'affût avant de faire relever le mulet. Dans le passage des fossés étroits, on doit avoir l'attention de retirer l'écouvillon de l'âme, afin que la hampe ne soit pas brisée.

Les roues doivent être graissées tous les deux jours au moins, même tous les jours quand l'étape est longue.

Comparaison du transport par le traînage ou à dos de mulet.

Le transport par le traînage a pour inconvénients de détériorer le matériel, de soumettre à un service très-pénible le canonnier placé à l'extrémité de l'écouvillon introduit dans l'âme pour diriger la pièce, et, lorsque l'affût verse, d'exposer le mulet de derrière à être renversé et la limonière à être brisée.

Le conducteur de derrière, obligé de marcher à côté du mulet, se trouve dans une position très-gênante lorsque le chemin devient étroit; les mulets se fatiguent plus en tirant qu'en portant, dans les chemins roides et rocailleux; enfin, avec les pièces attelées, on est obligé d'éviter, par des détours quelquefois assez longs, des passages qui eussent été praticables pour les mulets chargés.

Les partisans de ce mode de transport répondent que, dans une guerre de surprises, telle que la guerre de montagne, la bouche à feu peut entrer immédiatement en action, et que, d'un autre côté, les mulets sont moins souvent blessés par leurs bâts.

Il ne faudrait pas s'exagérer la valeur de ces arguments. Avec une troupe bien exercée, on peut, en moins d'une minute, décharger la pièce, charger, pointer et tirer le premier coup. Quant aux blessures, il est fort contestable qu'elles soient plus fréquentes lorsque les mulets portent au lieu de tirer.

Beaucoup d'opinions se sont formées, en Afrique, sous l'empire de circonstances qui ne permettaient ni de longues réflexions, ni des recherches bien méthodiques. Les officiers faisaient pour le mieux avec le matériel qu'ils possédaient; puis, ils continuaient par habitude ce qu'ils avaient commencé par nécessité.

Ainsi, en 1835, lors des expéditions de Tlemcen et de la Tafna, les bâts catalans, en service dans une batterie, avaient un rembourrage en fort mauvais état; beaucoup de mulets furent blessés, et l'on fut obligé d'atteler. Ce mode de transport devint habituel dans la province d'Oran, jusqu'à la fin de 1841. A cette époque eut lieu une expédition dans laquelle des chemins impraticables pour l'affût rendirent nécessaire le transport à dos; on chargea les mulets; et, au bout de sept à huit heures de marche, tous furent blessés. Il fallut revenir au traînage, et l'on se tira des plus mauvais pas en transportant le matériel à bras.

Les blessures des mulets, pendant cette marche, tenaient à ce que les bâts n'avaient pas été chargés depuis plus d'un an, et s'étaient ainsi façonnés au dos de l'animal, sous l'action de leur poids seulement : lorsqu'ils reçurent le chargement, le dos du mulet pénétra plus avant dans la garniture; les parties saillantes des épaules, des reins, etc.,

ne correspondant plus aux parties rentrantes du rembourrage, furent fortement comprimées et bientôt écorchées.

On refit le rembourrage en entier; puis, les mulets furent chargés, le premier jour, pendant une heure; le second, pendant deux; et progressivement, pendant l'étape entière; depuis lors, le mode de transport à dos fut presque exclusivement employé dans la batterie, et ne présenta plus d'inconvénients. Il est même à remarquer que, dans la plaine d'Eghres, sur un terrain aussi favorable que possible au traînage, on fit atteler un jour par expérience, au retour d'une expédition où les animaux n'avaient nullement souffert et s'étaient au contraire mis en haleine. Au bout de peu de temps, les mulets étaient en sueur, ainsi que les servants placés à l'écouvillon. *On fit recharger pour soulager les uns et les autres.*

Voici un autre fait tout à l'avantage du transport à dos.

Une colonne de cavalerie, à laquelle était attachée une section d'artillerie de montagne, se trouvait à quarante-deux lieues de Constantine, lorsque, le 31 mai 1844, elle reçut l'ordre d'y rentrer.

Le matériel de la section fut chargé; les servants et les conducteurs montèrent des mulets arabes de réquisition, et le 3 juin, à 10 heures du matin, la section entière arrivait à Constantine avec la colonne de cavalerie, sans avoir un seul mulet blessé.

D'après ce qui précède, il paraît incontestable que le transport à dos est préférable au traînage; mais il ne doit pas cependant être adopté d'une manière exclusive; il ne faut pas oublier que la limonière, d'abord écartée du matériel de montagne, y fut rétablie dès que ce matériel eut été soumis à l'expérience de la guerre. Lorsqu'un mulet de pièce ou d'affût est blessé, on lui donne, en l'attelant quelques jours, le temps de se guérir, tandis qu'on pourrait le mettre hors de service, si l'on continuait de le charger. Il y

a aussi avantage à traîner, lorsque l'on est en présence ou à proximité de l'ennemi.

Marche de nuit.

Dans les marches de nuit, on doit charger le matériel, afin d'éviter de briser des limonières lorsque les affûts viennent à verser, accidents dont l'obscurité aggrave l'importance.

Il faut, avant le départ et à chaque halte, porter une attention particulière sur la stabilité des chargements et sur la répartition des servants autour des mulets. Chaque file doit être précédée par un brigadier chargé de reconnaître le passage.

Campement.

La batterie étant supposée en bataille sur l'emplacement où elle doit camper, les mulets de chaque pièce, y compris ceux de la réserve, placés en file derrière leur obusier, la corde de campement de la seconde section est tendue en arrière de la réserve parallèlement à la ligne de bataille; les cordes de campement des deux autres sections sont ensuite tendues à droite et à gauche dans le prolongement de la première; et, lorsque l'axe des obusiers extrêmes est dépassé de 10 mètres environ, les cordes sont redressées en équerre vers le front de bandière. Dès que les cordes sont tendues, les conducteurs conduisent les mulets en dehors du rectangle, à la place réservée à leur pièce, les débrident et les attachent; les chevaux sont également débridés et attachés; on a soin de les isoler aux extrémités et aux angles des cordes, s'ils ne vivent pas en bonne intelligence avec les mulets, et si la répartition des ordinaires l'exige.

Les servants déchargent les bouches à feu qu'ils mettent en batterie sur le front du camp; puis, les caisses qu'ils placent sur une ligne parallèle aux cordes, en face des mulets qui les ont portées.

Si l'on a du fourrage dans les sacs, on en donne immédiatement une partie.

Les hommes dressent leurs tentes parallèlement aux

cordes, en dehors des mulets. Les officiers s'établissent en avant du front; les sous-officiers dans le rectangle, derrière les pièces; les cuisines et la forge, à droite et à gauche du rectangle formé par les tentes.

Une heure environ après l'arrivée, on fait boire; deux heures après, *au moins*, on débâte. Une demi-heure ou une heure après avoir débâté, le vétérinaire visite les mulets en présence des chefs de section et des chefs de pièce; il va rendre compte au capitaine commandant, du résultat de cette visite.

On peut encore établir le camp suivant des lignes parallèles, la première formée par les bouches à feu, la seconde par les caisses à munitions empilées par pièce, la troisième et quatrième formées par les tentes, et la dernière par les mulets attachés tête à tête à la corde de campement.

La première disposition a l'avantage de fermer le camp et de rendre la surveillance plus facile; la seconde donne au camp un front plus étendu et une profondeur moindre.

La réunion des caisses deux à deux offre moins de chance que l'empilement, aux accidents graves; elle évite toute confusion dans le chargement et le déchargement : enfin elle laisse aux mêmes hommes le soin des mêmes objets.

Dispositions pour le combat.

Avant le combat, on désigne dans chaque section les hommes qui se porteront en avant avec les pièces, et ceux qui devront se tenir à quelque distance en arrière, pour abriter les mulets et les munitions du feu de l'ennemi. Un des trois brigadiers attachés à la première ligne de chaque section reste avec la réserve; les deux autres accompagnent les obusiers servis chacun par cinq canonniers : un seul artificier par section est chargé de la distribution des munitions. On s'assure que rien ne gêne l'ouverture des caisses; on fait dégager en partie quelques charges; on passe le

dégorgeoir dans la lumière, et l'on vérifie l'état des armements et des artifices.

Dans la guerre de montagne, les troupes agissent rarement en ligne ou en colonnes formées régulièrement. Il en résulte que l'artillerie a le plus souvent pour mission principale de soutenir les tirailleurs, de seconder leurs attaques, de protéger leur retraite, sans être jamais une cause de retard dans les mouvements qu'elle est appelée à favoriser.

Chasser l'ennemi d'un mamelon ou d'un escarpement qui domine la route par laquelle on opère; battre les défilés et les ravins sur les flancs de la colonne; inquiéter les défenseurs d'une position fortifiée, afin que l'infanterie puisse escalader les retranchements : tel est l'emploi le plus habituel des batteries de montagne. De nombreux exemples constatent combien, dans les affaires de ce genre, l'action de l'artillerie peut être efficace et même décisive. On se contentera d'en citer quelques-uns.

La route de Tortose à Tarragone est dominée et interceptée, au col de Balaguer, par le fort Saint-Philippe; l'importance de cette position décida le maréchal Suchet à s'en emparer. Le général Habert, à la tête de deux régiments et de quatre obusiers, reçoit l'ordre de tenter l'entreprise; il part la nuit, arrive sous le fort et met ses quatre pièces en batterie. Le feu venait de commencer, et les voltigeurs s'étaient élancés sur les postes extérieurs, lorsque nos obus firent sauter un magasin à poudre. Alors la garnison flotte incertaine, les palissades sont franchies; on escalade l'escarpe, et l'ennemi, réfugié dans le réduit, capitule en nous abandonnant onze bouches à feu et cent mille cartouches (*).

Au mois de juillet 1841, l'armée faisait la moisson autour de Mascara; nos troupes avaient assis leur camp à 4 kilomètres de cette ville, au pied d'une montagne élevée

(*) Mémoires du maréchal Suchet, tome I, page 254.

sur laquelle se trouve le marabout de Sidi-Daho. Les Arabes, réunis en très-grand nombre sur le versant opposé, tentèrent d'arrêter nos travaux en mettant eux-mêmes le feu à une partie de leurs récoltes encore sur pied, et ensuite en ouvrant une fusillade assez vive. Une section d'artillerie de montagne, placée sur le plateau de Sidi-Daho, les dispersa d'abord; mais ils parvinrent à se reformer dans une position où ils étaient à l'abri des obus et d'où ils dirigeaient un feu très-nourri sur le marabout occupé par des chasseurs à pied.

Ce marabout est environné de rochers formant parapets. La section de montagne reçoit l'ordre de s'y établir; les pièces sont transportées à dos de mulets et immédiatement mises en batterie derrière l'épaulement naturel qui les dérobe à la vue de l'ennemi; elles tirent à l'improviste plusieurs obus coup sur coup; puis les troupes se lancent au pas de course sur les Arabes qui s'enfuient en désordre.

En 1844, la division de Constantine étant devant M'Chouness eut à s'emparer d'une position assez forte; il fallait enlever un bois de palmiers entouré d'un mur de clôture derrière lequel les Arabes étaient embusqués; occuper un village commandé par un fortin d'un accès difficile, et enfin faire évacuer un plateau élevé, presque inaccessible et défendu par des fantassins réguliers. Une section d'obusiers de montagne se mit en batterie à 200 mètres du bois; son feu eut bientôt ralenti la défense et amené l'occupation de cette position par notre infanterie. L'artillerie s'établit ensuite sur un mamelon, à 600 mètres du fortin; quelques obus éclatèrent dans cet ouvrage, et il fut évacué.

Le plateau était à 800 mètres; il avait un commandement de 200 mètres environ sur le terrain de la section. L'artillerie eût été peu efficace contre l'ennemi, et dangereuse pour nos colonnes d'attaque. On se décida à diriger une compagnie d'infanterie, un obusier et huit fusils de rempart

sur un point d'un accès difficile, mais d'où l'on pouvait battre le plateau dans des conditions moins défavorables; on parvint ainsi à y lancer six obus dont l'effet fut secondé par le tir des fusils de rempart. Cette attaque permit à la colonne principale de tourner le plateau, et de l'enlever.

Voici un dernier exemple qui prouve que, dans la guerre de montagne, l'effet moral produit par l'artillerie supplée quelquefois à son effet réel.

En 1793, les Autrichiens occupaient, dans les Vosges, près du village de Nothweiler, une position forte et trop élevée pour que notre artillerie pût les y atteindre. Les Français, commandés par l'adjudant général Gouvion Saint-Cyr, avaient essayé en vain, par quelques démonstrations, de la faire évacuer; il fallut se décider à l'enlever. Le gros des troupes se tint masqué devant la position; trois bataillons furent détachés pour tenter une diversion vers la droite, et une pièce de 4 fut mise en batterie pendant la nuit, à force de bras, sur une hauteur qui dominait la position des Autrichiens.

« Certainement, dit le maréchal Gouvion Saint-Cyr, le » feu d'une pièce de 4 est peu imposant; mais l'ennemi » était loin d'en attendre là, et ce *qui surprend à la guerre* » *fait toujours un grand effet*. C'était, sans doute, un bien » pauvre moyen; eh bien, il agit grandement sur le moral de » l'ennemi, qui voyait en même temps déboucher les colonnes » qui avaient été jusqu'alors masquées avec soin (*). »

Dans les retraites, un rôle important est réservé à l'artillerie, et le salut commun peut quelquefois dépendre de la manière dont il est rempli.

L'espace compris entre l'arrière-garde et le gros des

(*) Gouvion Saint-Cyr, Mémoires sur les campagnes des armées du Rhin et de Rhin-et-Moselle, tome Ier, page 102.

troupes est, en général, le point faible sur lequel un ennemi entreprenant tente de se jeter. Lorsqu'une pareille attaque est à craindre, les pièces marchant sur les flancs des colonnes, doivent se rapprocher des sections de l'arrière-garde pour les soutenir au besoin; celles-ci doivent protéger les tirailleurs, mais sans se placer en première ligne; car alors elles pourraient être gravement compromises par tout accident qui retarderait leur marche, et les tirailleurs, pour les dégager, essuieraient des pertes inutiles.

Les sections ou les pièces d'arrière-garde doivent donc exécuter leur feu, en retraite par échelons, chacune d'elles commençant le mouvement de retraite, lorsque les tirailleurs sont près d'arriver à sa hauteur.

Ce mouvement s'exécute avec rapidité, si l'arrière-garde est seulement harcelée par des bandes incapables de rien entreprendre de sérieux; on le ralentit et même on le suspend, si l'arrière-garde est vigoureusement assaillie : dans ce cas, l'artillerie doit employer toutes ses ressources pour contenir l'ennemi et permettre aux tirailleurs de se retirer en bon ordre.

Cette règle doit encore être suivie dans les passages de défilés; mais l'artillerie courant alors le danger d'être enlevée doit choisir ses positions en dedans plutôt qu'en dehors du défilé, et quand la nécessité l'oblige à faire autrement, c'est à celui qui la commande à saisir avec justesse et promptitude le moment convenable pour se replier à son tour.

La guerre d'Afrique a offert à l'artillerie de nombreuses occasions d'agir à l'arrière-garde, et l'on pourrait multiplier les citations à l'appui des préceptes qui viennent d'être développés; mais cela paraît superflu. Dans cette guerre, en effet, toute de surprise et de ruse, les principes sont modifiés à chaque instant par les circonstances, ou plutôt ils se réduisent à l'art de bien saisir ce qui convient le mieux pour l'occasion.

Les opérations dans les Alpes et dans les Pyrénées ont eu presque toutes pour historiens les généraux qui les ont dirigées; c'est en lisant leurs ouvrages que l'on pourra se pénétrer des règles à suivre et des exemples à imiter.

L'Empereur a donné des principes généraux sur la guerre de montagne (*).

Les Mémoires du duc Henri de Rohan, sur la guerre de la Valteline; ceux des maréchaux Suchet et Gouvion Saint-Cyr, sur les campagnes d'Aragon et de Catalogne, offrent les plus habiles applications de la science de cette guerre (**).

(*) Mémoires pour servir à l'histoire de France sous Napoléon. Guerre d'Italie (1792-1795), t. III (Paris, 1823), p. 62.

(**) On peut encore consulter les auteurs suivants :

Decker, *Traité élémentaire d'Artillerie,* traduit par Ravichio et Nancy (Paris, 1825), page 410.

Saint-Hypolite, officier d'état-major, Considerations sur la guerre dans les Alpes occidentales (*Spectateur militaire,* tome XXXIX, page 639).

De Giustiniani, capitaine dans l'armée piémontaise, Memoire sur la guerre de montagne (*Spectateur militaire,* tome XXXVII, page 5).

De Saluces, quartier-maître général de l'armée piémontaise : *Les Alpes qui entourent l'Italie, envisagées militairement* (*voir* le compte rendu de cet ouvrage dans le *Spectateur militaire,* tome XL, page 449).

HISTORIQUE

DE

L'APPLICATION DU SYSTÈME PERCUTANT

AUX ARMES DE GUERRE.

Dès que le système à percussion fut substitué, dans les fusils de chasse, au système à silex, on crut généralement qu'il pourrait aussi être promptement appliqué aux fusils de guerre.

C'était du moins l'opinion de ceux qui, n'ayant pas des connaissances spéciales suffisantes, concluaient par analogie, sans saisir les différences profondes qu'établit, entre les deux espèces d'armes, l'usage auquel elles sont destinées.

Les chasseurs sont libres d'acheter les armes qui leur conviennent; s'ils se trompent, leur intérêt seul est lésé; ils ne peuvent s'en prendre à personne, et personne n'a le droit de leur en faire un reproche; ils soignent ces armes comme l'instrument de leurs plaisirs, avec l'espèce d'amour que l'on porte à sa propriété. Les maniant par goût, ils acquièrent vite l'aptitude nécessaire pour les entretenir; ils ont d'ailleurs ordinairement sous la main des ouvriers capables de faire ce qu'ils ne pourraient exécuter eux-mêmes. S'ils affrontent quelquefois les intempéries des saisons, c'est par leur propre volonté; ils trouvent le soir, chez eux, toutes les facilités désirables pour réparer leur armement,

rien ne les obligeant à recommencer leurs courses le lendemain. Quand ils sortent, ils sont toujours bien pourvus de tout ce qu'il leur faut. Quand ils tirent, ils ont le temps qu'ils veulent pour recharger; ils ne sont jamais préoccupés de l'idée du danger; si, par accident, leur fusil vient à se détraquer, ce n'est qu'une partie manquée; ils en sont quittes pour rentrer chez eux un peu plus tôt.

Les chasseurs sont donc dans des conditions toutes particulières quant au choix de leurs armes, ce qui fait que le commerce peut leur présenter des systèmes compliqués, peu durables, dispendieux, sans qu'il en résulte de graves inconvénients. L'armurier le plus habile ou le plus heureux a la vogue, et tout s'arrête là.

Considérations sur les armes de guerre.

Les soldats, au contraire, ne portent les armes que pour obéir à la loi, et la loi ne consulte ni leurs goûts, ni leurs aptitudes; elle ne tient pas compte du développement de l'intelligence, mais seulement des qualités physiques. Ceux qui manient le fusil ont souvent plus de dévouement que d'adresse. Ils sont presque toujours éloignés, pendant la guerre, des ateliers de réparations. Ils doivent se servir de leurs armes, non à leur choix et à leur heure, mais quand l'ennemi est là, du matin au soir, durant plusieurs jours de suite, dormant au bivouac par tous les temps, ne cessant de combattre que pour marcher, exposés au froid et au chaud, à la pluie et à la poussière, ne trouvant souvent ni le lieu, ni le moment de nettoyer le fusil d'où peut dépendre leur vie. Il faut donc au soldat une arme d'un mécanisme simple, facile à charger, à tirer et à entretenir. Il ne la choisit pas, c'est l'État qui la lui donne et qui doit la remplacer quand elle sera hors de service. C'est l'État qui paye les approvisionnements accumulés de longue main dans les arsenaux, et dont la valeur serait perdue si l'on adoptait légèrement un modèle défectueux. Une erreur de

ce genre n'entraînerait pas seulement de grandes pertes en argent; elle pourrait avoir encore les plus funestes conséquences pour la nation dont elle paralyserait les défenseurs.

Lors donc qu'un inventeur propose une arme de guerre exécutée à grands frais par les plus adroits ouvriers, qu'il en fait usage par un temps favorable, dans un tir peu prolongé, avec des munitions préparées pour obtenir toute la justesse possible, sans tenir compte de l'encrassement ni des détériorations causées par le transport dans les caissons ou les gibernes, il arrive, le plus souvent, qu'il n'a fait qu'une arme de joute pour remporter des prix d'adresse, et qu'il a négligé, faute de les connaître, toutes les conditions militaires, savoir : fabrication peu coûteuse; réparations faciles; mode de chargement rapide, praticable dans les rangs par des soldats, au milieu de l'agitation du combat et dans des circonstances atmosphériques quelconques; munitions d'une confection simple et prompte, aisément transportables à la suite des armées; etc.

C'est après être parvenue à remplir la plupart de ces conditions pendant les guerres de la République et de l'Empire, que l'artillerie sur qui pèse toute la responsabilité de l'armement des troupes, de la confection des munitions et de leur transport, a été chargée d'appliquer au fusil de guerre le système percutant déjà répandu dans les armes de luxe.

Les recherches et les travaux entrepris à ce sujet ont duré vingt-huit ans, avant de conduire à une solution complète.

Les premiers essais de platine à percussion remontent à 1786; les armes de Pauly ne parurent qu'en 1812, et ce ne fut qu'à la fin de 1813 qu'un fusil percutant, pour l'armement des troupes, fut présenté par Julien-Leroy; il se chargeait par la culasse qui était réunie au canon par un pivot

autour duquel elle tournait pour se rabattre sur le côté, ce qui permettait d'introduire la cartouche. L'amorce était composée de grains de poudre fulminante qui se plaçaient dans la cavité d'un mamelon ménagé à droite du tonnerre; elle s'enflammait sous le choc d'un ressort mû par un tourniquet dont les branches faisaient office de détente. Ce projet, souvent modifié par son auteur, fut soumis à des épreuves de plus en plus étendues, sous la direction de Commissions composées d'officiers généraux et supérieurs de différentes armes. Il fut rejeté en 1820, parce qu'il manquait de solidité, et parce qu'il y avait des fuites de gaz très-incommodes pour le soldat. L'amorce se perdait facilement quand elle était placée dans la cavité destinée à la recevoir; enfin la pression sur la détente, qu'il fallait prolonger pour faire partir le coup, nuisait à la justesse du tir.

Systèmes Pauly, Roux. 1818.

Pendant ces essais, et de 1818 à 1824, MM. Pauly, Roux, Sartoris et de Valdahon proposèrent aussi, pour l'armement des troupes, des fusils et mousquetons percutants, se chargeant par la culasse. Les systèmes des deux premiers différaient peu entre eux : le canon tournait dans le sens vertical sur deux tourillons, pour recevoir la charge par le tonnerre. Un piston, mû par une platine semblable à celle des armes à silex, enflammait l'amorce fulminante placée au centre d'un culot en cuivre s'adaptant aux cartouches.

Système Sartoris. 1819.

Dans l'arme de M. Sartoris, le tonnerre et le canon étaient réunis par un taraudage régnant seulement sur une partie des surfaces de contact; ils se séparaient pour le placement de la cartouche, en glissant l'un sur l'autre, lorsqu'on faisait correspondre les parties non taraudées de l'un aux parties taraudées de l'autre.

Système Valdahon. 1823.

Dans le système de M. de Valdahon, le tonnerre mobile s'emboîtait avec le canon; il était maintenu dans cette position au moyen d'un massif qui le calait par derrière. Quand on retirait ce massif, le tonnerre pouvait reculer

dans le sens de l'axe du canon, et se relever pour recevoir la charge. Un ressort, placé sous l'écusson, faisait office de chien; il coupait et enflammait par son choc l'amorce contenue dans un petit tube en paille logé, en dessous, dans le bois et qui s'avançait au fur et à mesure du tir, au-dessus de la lumière, où le chien venait le frapper.

Tous ces projets furent essayés et rejetés à cause de leur complication, ou de leur défaut de solidité, ou des chances d'accidents graves que présentaient le chargement et le tir.

Ainsi, le système percutant fut d'abord combiné, pour les armes de guerre, avec le chargement par le tonnerre; et, jusqu'ici, on n'a pas encore trouvé d'application satisfaisante de cette dernière disposition à l'armement des troupes.

Ce fut seulement en 1822 que parut un projet d'arme de guerre, où le système percutant était employé sans changer le mode habituel de chargement. L'auteur, M. Latura, avait surtout cherché à opérer la transformation en conservant la faculté de revenir aisément, au besoin, au système à silex. Entre les mâchoires du chien était serré un petit marteau en fer; le bassinet était recouvert d'une pièce en fer fixée par la vis de batterie et percée, en dessus, d'un canal de lumière. Une branche mobile, maintenue par un petit ressort et abattue contre le couvre-bassinet, portait une cavité où se plaçait l'amorce fulminante qu'enflammait le choc du chien.

Pour revenir au système à silex, il suffisait de remplacer le marteau par une pierre à feu, et le couvre-bassinet par la batterie; mais l'idée de faire porter aux soldats les deux appareils, et d'employer l'un ou l'autre, selon l'occurrence, ne parut pas admissible; l'arme de M. Latura, qui manquait d'ailleurs de simplicité et de solidité, ne fut pas adoptée.

M. de Châteaubrun, lieutenant-colonel d'artillerie, s'occupa aussi de la transformation; il présenta, en 1824, un

mousqueton disposé ainsi qu'il suit : une masselotte en fer, vissée dans le pan de lumière, remplissait par son contour inférieur l'encastrement du bassinet, et portait une cheminée; l'amorce était une capsule. On trouva que ce système, d'ailleurs assez simple, n'avait pas assez de solidité. L'emploi de capsules semblables à celles des armes de chasse parut être aussi un inconvénient, à cause de leur petitesse qui en rendait l'usage difficile pour des soldats.

Amorces fulminantes.

Pendant que certains esprits s'exerçaient sur le mécanisme des armes, d'autres consacraient leurs recherches à la composition des amorces fulminantes. Les poudres au chlorate de potasse, d'abord employées, furent abandonnées à cause de leur action corrosive sur le fer. Les dangers de la fabrication firent aussi abandonner l'argent détonant, et vers l'année 1820, on ne faisait plus guère usage que du mercure fulminant. Cet agent chimique, découvert par Howard en 1800, était connu en France depuis 1809. On ignore qui, le premier, l'employa à la fabrication des amorces; du reste, cette idée dut venir à plusieurs inventeurs presque simultanément; car on essayait tous les fulminates connus, pour les appliquer au système percutant.

Quoi qu'il en soit, en 1818, MM. Lepage et Prélat, sans se donner pour inventeurs, employaient le mercure d'Howard avec des armes pour lesquelles ils prenaient des brevets d'invention. En 1819, il existait à Bicêtre une fabrique d'amorces au mercure fulminant dirigée par MM. Daguin et Bellot qui la transportèrent, en 1823, dans la plaine d'Ivry.

Capsules. 1819.

La forme des amorces était aussi très-variée : on employait la poudre fulminante en grains, en pastilles recouvertes de plomb ou de papier, en boulettes cirées, en grains vernis, en tubes, en capsules. Cette dernière forme, exclusivement adoptée aujourd'hui, paraît avoir été importée

d'Angleterre, en 1819, par M. Deboubert, arquebusier. A cette époque, et même plusieurs années après, on mêlait le fulminate de mercure avec du pulvérin pour l'aviver, tandis qu'aujourd'hui, au contraire, on le mêle avec du salpêtre pour le tempérer.

Systè Vergna 182

En 1824, M. Vergnaud, alors capitaine d'artillerie, présenta un fusil percutant qui s'amorçait avec des boulettes cirées de mercure d'Howard, et qui fut rejeté, ainsi que les amorces, comme impropre au service de l'armée. La Direction des poudres et salpêtres fut chargée par le Ministre, à cette occasion, de faire sur les poudres fulminantes, et particulièrement sur le mercure fulminant, toutes les recherches et les expériences nécessaires pour éclairer et fixer l'opinion relativement aux dangers qu'elles peuvent présenter dans leur fabrication, leur transport et leur emploi. La Commission nommée à cet effet se composait de M. le colonel d'artillerie Aubert et de MM. Pelissier et Gay-Lussac; le Rapport qu'elle adressa au Ministre en 1825 constate, d'après des expériences multipliées, la supériorité incontestable du mercure d'Howard sur les poudres au chlorate (*Annales de Chimie et de Physique*, année 1829, t. XLII, p. 5).

Fulmi de mer

Ce fulminate, en effet, n'a pas d'action destructive sur le fer, et n'encrasse pas les armes; la préparation en est facile, et, avec de la prudence, à peu près sans danger. Le transport et l'emploi des amorces ne soulèvent aucune objection sérieuse. Enfin, les approvisionnements sont assurés à peu de frais, en toute circonstance, à cause de l'abondance du mercure dans le commerce, et du nombre considérable d'amorces que peut fournir 1 kilogramme de ce métal. En ne comptant que sur 30 000 amorces par kilogramme, il suffirait de 666 kilogrammes de mercure pour donner à une armée de 100000 hommes 200 cartouches par combattant.

Ainsi, les mines de mercure actuellement connues suffi-

raient à la consommation de toutes les armées de l'Europe, même dans la supposition d'une guerre générale; et, malgré le manque absolu de mines de mercure en France, la quantité de ce métal nécessaire pour les besoins de nos armées, portées au plus haut effectif, ne serait pas au-dessus des ressources du commerce, attendu que la consommation annuelle par le fait de la guerre s'élèverait à peine à un cinquantième des importations; d'ailleurs, on peut faire, en temps de paix, des approvisionnements à peu de frais.

On avait donc une poudre fulminante propre au service de guerre; mais tout restait à faire quant au genre d'amorces et au mécanisme de l'arme.

Commission des armes portatives. 1826.

En 1826, le Ministre de la Guerre institua la Commission dite *des armes portatives* (*), pour étudier définitivement les avantages et les inconvénients que pourrait présenter l'emploi des armes à percussion, entre les mains des troupes.

Cette Commission passa en revue d'abord les différents projets d'armes de guerre à percussion présentés depuis 1815, et confirma entièrement les jugements qui les avaient repoussés; puis elle eut à examiner des propositions nouvelles de toute espèce.

Quelques inventeurs se bornaient à reproduire les systèmes les plus répandus pour les armes de chasse, sans s'occuper de savoir si les soldats pourraient placer les amorces quand le froid engourdit leurs doigts, quand il faut faire feu la nuit, etc. D'autres avaient cherché à résoudre cette difficulté capitale au moyen d'amorçoirs plus ou moins compliqués. L'arquebusier Pottet présenta, vers

(*) Cette Commission était composée du lieutenant général Claparède, Président; des lieutenants généraux d'artillerie d'Anthouard et Lenoury; du maréchal de camp de la Rochejaquelein; de MM. Arago et Thenard, membres de l'Institut; du colonel d'artillerie Schoutler, inspecteur des manufactures d'armes, et du lieutenant-colonel d'artillerie Pron, secrétaire.

cette même époque, divers systèmes d'armes se chargeant par le tonnerre, et un fusil portant un amorçoir qui parut ingénieux, bien que la Commission lui trouvât des défauts essentiels; mais on s'occupait à les corriger, et l'on espérait y parvenir lorsque l'arquebusier Brunéel proposa son fusil percutant.

Ce qui distinguait surtout cette arme des autres, c'est que le mode d'amorcer paraissait être, pour les soldats, le plus pratique de tous ceux qu'on avait essayés jusque-là. C'était, du reste, la reproduction du système connu dans l'arquebuserie de chasse sous le nom de *culasse à foudre*. La chambre communiquait, par un canal percé dans le fond, avec une cheminée vissée sur le tonnerre. La cartouche contenait, sous la balle, une rondelle de liége percée au centre d'un trou rond pour y loger l'amorce renfermée dans une capsule cylindrique en cuivre. Le papier de la cartouche était replié et collé sur cette rondelle, et, pour empêcher la capsule de se perdre, on collait sur son logement un petit cercle de papier fin. Un conducteur cylindrique, d'un diamètre convenable, entourait la cheminée; il était destiné à faciliter le placement de la capsule. En appuyant la cartouche contre ce conducteur, la balle en bas, et en la poussant contre la cheminée, la capsule se plaçait d'elle-même et restait fixée par le frottement, pourvu que l'homme eût l'attention de tourner un peu la cartouche entre ses doigts en la retirant du conducteur. Le fusil une fois amorcé de cette manière, on achevait de charger comme à l'ordinaire. Ce moyen parut simple, ingénieux, et d'une exécution facile pour les soldats, la nuit comme le jour. Les études et les recherches se concentrèrent donc sur le système Brunéel. Les premières expériences furent faites avec trente fusils de ce modèle fabriqués à Saint-Étienne, en 1828.

La Commission reconnut que l'effet balistique du fusil Brunéel était à celui du fusil à silex modèle 1822, comme

381 est à 363. La charge du premier fut, en conséquence, fixée à 9 grammes de poudre; celle du second était de 9 1/2 grammes, non compris 1 gramme pour l'amorce.

Dans ces conditions, on eut, aux premières épreuves :

Ratés	fusil à silex, 1 sur 8 coups,	
	fusil Brunéel, 1 sur 16 coups.	
Recul au fusil-pendule	fusil à silex...........	12° 7′,
	fusil Brunéel.........	12° 6′.

Par un temps pluvieux, il y eut 1 sur 62 cartouches Brunéel sacrifiée pour perte de capsules, raté, etc., par un temps froid et dans des feux entremêlés de divers mouvements et maniements d'armes, 1 sur 44.

Les essais de confection constatèrent que le prix de la cartouche Brunéel était supérieur à celui de la cartouche ordinaire dans le rapport de 5 à 2, non compris la valeur de la poudre, de la balle, de la capsule et autres accessoires. La comparaison faite entre le liége, le feutre, le buffle et le carton, pour les rondelles, fit donner la préférence au carton.

Ces premiers résultats conduisirent à élargir le canal de la cheminée et à évaser son orifice supérieur. Par suite de ces légères modifications, la proportion des ratés fut notablement diminuée; dans une épreuve subséquente, il n'y en eut pas un seul sur cinq cents coups.

La Commission des armes portatives constata aussi que, dans le tir à l'épaule, le recul du fusil Brunéel était plus fort que celui du fusil à silex, sans cependant causer une fatigue sensiblement plus grande; qu'il fallait rapprocher l'axe de la cheminée de l'axe du canon; que le canal percé dans la culasse devait arriver directement sous la cheminée, et avoir son orifice inférieur assez évasé pour que la poudre de la charge y entrât facilement. Elle en était là, lorsque le Ministre lui demanda, le 20 décembre 1828, un Rapport détaillé, destiné à fixer l'opinion sur

l'adoption ou le rejet des armes à percussion pour l'armement des troupes.

La Commission rendit compte de ses travaux, et donna ses conclusions dont voici le résumé :

Conclusions de la Commission des armes portatives.

Les vapeurs mercurielles résultant de l'emploi des amorces fulminantes ne sont ni incommodes, ni dangereuses, ainsi qu'on l'avait craint.

Les amorces, sous la forme de capsules en cuivre, sont préférables, pour le service des troupes, aux amorces en grains, en ce qu'elles sont plus faciles à placer et offrent moins de danger dans les transports. Les capsules cylindriques en cuivre très-mince ont bien réussi.

Si les capsules sont de bonne qualité, et la platine en bon état, il n'y a point de ratés de platine à craindre, soit par un temps de pluie, soit par un vent violent.

Les capsules ne perdent rien de leur qualité pour avoir séjourné dans l'eau pendant plusieurs heures.

Cependant, si l'on met en contact immédiat avec l'eau la poudre fulminante appliquée à nu au fond des capsules, et que ce contact se prolonge longtemps, la poudre se détrempe, se détache en partie, et la capsule peut rater; quand la capsule est bien fixée sur la cheminée, cet inconvénient ne peut se produire.

Les cheminées suffisamment coniques, pour que la capsule couvre les deux tiers de leur hauteur, ont paru les meilleures; le tiers restant est destiné à faire forcer la capsule par la pression qu'on exerce en amorçant.

En chanfreinant le haut du cône des cheminées, et en fraisant l'entrée du canal de lumière, on diminue le plan de percussion et l'on facilite à la fois le placement et l'explosion de la capsule.

Les cheminées dont le cône est fendu au sommet, comme la tête d'une vis, donnent moins de ratés de canon que celles dont le cône n'est pas fendu.

Les cheminées doivent être en acier fondu, trempées, aussi identiques que possible dans toutes leurs parties, afin qu'on puisse les visser sur toutes les armes d'un même modèle.

Le canal de lumière s'évasant de haut en bas, en forme de tronc de cône, diminue les chances de ratés de canon. Le plus petit diamètre du canal ne doit pas être au-dessous de $1^{mm},5$.

Le marteau doit couvrir, le plus possible, la cheminée et la frapper d'aplomb.

Les amorçoirs mécaniques, adaptés aux platines, sont d'un mauvais usage pour la troupe, tant à cause de leur complication et du peu de certitude de leur usage, que parce qu'ils exigent l'emploi de la poudre fulminante en grains.

Les amorçoirs portatifs ne sont pas assez parfaits, et leur usage est embarrassant.

L'emploi des cartouches du système Brunéel est simple et facile, même dans l'obscurité. Quand les hommes sont suffisamment exercés, il n'y a que 1 coup perdu sur 75.

Avec un peloton encore peu exercé et qui a exécuté des maniements d'armes, des marches et des manœuvres, les armes chargées, il y a eu 1 coup perdu sur 44.

Avec un concours des circonstances les plus défavorables, telles qu'un froid très-vif, un vent violent, des armes mal nettoyées, il y a eu, dans le même peloton exécutant des marches et des maniements d'armes, 1 coup perdu sur 14.

Les cartouches servant à remplacer les amorces qui ont raté ou ne se sont pas bien placées sur la cheminée seront perdues à la guerre. Cet inconvénient pourrait peut-être disparaître, en distribuant aux soldats des capsules libres.

La cartouche de Brunéel supporte aussi bien le transport

ue la cartouche ordinaire, et n'offre pas plus de dangers ans les mêmes circonstances.

L'action de l'humidité sur la cartouche ne donne pas de atés et ne crée pas de difficultés pour amorcer.

Les rondelles en carton paraissent d'un aussi bon usage t sont moins coûteuses que les rondelles en liége, en feutre u en buffle.

La transmission du feu de l'amorce à la charge doit être lirecte.

Le mode de transmission du fusil Brunéel est donc vicieux, en ce que le jet fulminant n'arrive que par réflexion, et après un long trajet, jusqu'à la poudre. Le canal percé lans le bouton de culasse est trop étroit, et sujet à s'engorger, soit dans le tir, soit par suite d'un mauvais nettoyage. Il est, d'ailleurs, très-difficile d'épingler; ces défauts ont causé, à plusieurs reprises, des ratés de canon.

L'encrassement ne s'oppose au chargement qu'après un nombre de coups supérieur à celui que les soldats peuvent avoir à tirer dans une même journée.

L'exécution du fusil ne demande pas plus de temps que celle des fusils en service, et n'en diffère que par la manière d'amorcer. La charge est réduite à onze temps.

Le recul de ces fusils, dans lesquels le feu arrive par le derrière de la charge, est moindre que celui du fusil modèle 1822, mis à percussion, sans déplacement de la lumière.

Le système Brunéel peut s'appliquer à toutes les armes en service.

La Commission concluait, à l'unanimité, que de tous les procédés essayés jusque-là pour amorcer les armes à percussion, la cartouche de M. Brunéel était celle dont l'usage offrait le moins d'inconvénients entre les mains des troupes; qu'elle paraissait néanmoins susceptible de beaucoup de perfectionnements, et qu'il convenait d'appeler

l'attention de l'artillerie sur les moyens de rendre la fabrication de cette cartouche plus facile, plus prompte et moins coûteuse.

La Commission ajoutait que les fusils Brunéel modifiés d'après ses indications semblaient devoir être d'un usage satisfaisant entre les mains des troupes; qu'ils avaient cependant encore besoin d'améliorations, et que l'on devait faire de nouvelles recherches à ce sujet.

Propositions de la Commission.

Elle proposait, en conséquence :

De faire fabriquer 300 fusils Brunéel;

De chercher à perfectionner le système de transmission du feu de l'amorce à la charge, en profitant des observations qu'elle avait recueillies;

De laisser les fusils entre les mains des troupes dans un régiment, pendant un an au moins, sous les yeux d'une Commission composée d'officiers d'artillerie et d'infanterie, conformément à un programme rédigé à cet effet.

Avis du Comité.

Le Comité de l'artillerie, chargé d'examiner les travaux de la Commission des armes portatives qui venait d'être dissoute, approuva ces propositions; seulement, il demanda que les 300 fusils fussent répartis dans six régiments au lieu d'un, afin de s'éclairer par un plus grand nombre d'opinions. Il repoussa aussi l'idée d'une Commission mixte, attendu que, puisqu'il s'agissait principalement d'apprécier le moyen d'amorcer, dans toutes les circonstances du service, les essais ne pouvaient être mieux dirigés que par les officiers des régiments où ils auraient lieu.

Le Rapport du Comité, en date du 7 mai 1829, fut approuvé par le Ministre de la Guerre.

Expériences de 1831.

Les événements survenus en 1830 occasionnèrent de la perturbation et des retards dans la marche des épreuves. Deux régiments seulement en furent chargés. Un officier d'artillerie fut attaché à la Commission formée dans chacun

e ces corps. Les essais eurent lieu au commencement de 831.

Tout en reconnaissant beaucoup d'avantages au système Brunéel, tels que l'augmentation de justesse du tir, la diminution des ratés comparativement avec le fusil à silex, a suppression des longs feux, etc., on signala aussi un rand nombre d'inconvénients.

Les ratés de canon, quoique moins fréquents, étaient encore dans la proportion de 1 sur 60 coups, dont un tiers au premier coup. La crasse qui se détache des parois du canon ombait dans la chambre et obstruait le canal de lumière. Il tait difficile de manier la cartouche, sans la déchirer près le la balle, lorsqu'on plaçait la capsule sur la cheminée, et qu'on la séparait de la rondelle par un mouvement de torsion omme cela était indiqué. Le recul était plus fort que celui lu fusil à silex. Les bords de la capsule se déformaient quelquefois, par la précipitation du soldat en amorçant, et la apsule ne pouvait plus alors être placée sur la cheminée, nconvénient grave surtout la nuit. Enfin, il paraissait lifficile de se procurer, en campagne, les éléments nécessaires à la confection des cartouches Brunéel.

Les Commissions proposaient, en conséquence, les modifications suivantes :

Séparer la capsule de la cartouche qui reviendrait ainsi à sa simplicité primitive; placer l'amorce avec les doigts; porter les capsules dans une poche mise au côté droit du pantalon.

Donner à la chambre de la culasse du fusil Brunéel la forme cylindrique, d'un diamètre inférieur à celui de l'âme du canon. Placer l'orifice du canal de lumière en avant du fond de cette chambre, qui servirait de réceptacle aux crasses. Rapprocher la cheminée de l'axe du canon, afin que le canal de lumière arrive plus directement dans la chambre. Fendre le bord inférieur des capsules : 1° pour di-

minuer les chances de ratés, par la possibilité de mettre mieux à fond les capsules sur les cheminées; 2° pour empêcher l'adhérence après l'explosion; 3° pour éviter les éclats de capsules qui peuvent incommoder les tireurs.

Ces changements furent adoptés.

On rechercha quelle serait, sous le double rapport du recul et de l'effet de l'arme, la position la plus convenable à donner au débouché de la lumière dans la chambre. Le tir au fusil-pendule ne fit pas ressortir de différences notables en plaçant l'orifice successivement à $2^{mm},3$, $4^{mm},6$ et $6^{mm},9$ du fond; l'avantage était cependant en faveur de la plus grande distance, et comme elle donnait, en même temps, le plus d'emplacement pour loger les crasses, elle fut adoptée. Avec cette dernière disposition, le recul moyen du fusil percutant chargé à 9 grammes de poudre fut de 11°4', et celui du fusil à silex modèle 1822, chargé à $9^{gr},50$, fut de 11°22'.

Comme les cartouches Brunéel crevaient souvent entre la rondelle et la balle, soit dans les transports, soit en amorçant, on essaya de remplacer la rondelle de carton par un sabot en bois, creusé de manière à y loger un tiers du diamètre de la balle. Dans les expériences qui eurent lieu à cette occasion, on reconnut que les sabots en bois n'avaient pas de supériorité bien prononcée, quant à la justesse et à la portée, sur la rondelle en carton; que, pour amorcer, ils avaient un avantage marqué, et que leurs éclats étaient sans danger.

Le fusil Brunéel modifié, avec la charge de 9 grammes, conserva la supériorité de portée sur le fusil à silex modèle 1822 avec la charge de $9^{gr},50$. On put tirer jusqu'à cent coups de suite sans difficultés de chargement, et l'on n'eut pas un seul raté d'amorce sur deux mille six cents coups. Le nombre de ratés de canon fut encore de 115, et l'on acquit la certitude qu'ils étaient principalement causés par

humidité restant dans le canal de lumière après le lavage des canons, humidité très-difficile à enlever entièrement. Néanmoins, on disait formellement, dès cette époque, qu'il y aurait de graves inconvénients à laisser aux soldats la faculté de démonter les cheminées, lorsqu'ils lavent les canons.

Douze cents fusils Brunéel modifiés comme il a été dit plus haut furent fabriqués, en 1832, à Maubeuge, et mis en expérience, dans un régiment d'infanterie, par une Commission mixte dite *des fusils percutants*. Ces essais durèrent quatorze mois : chaque arme tira près de mille coups. Les résultats obtenus confirmèrent les avantages déjà reconnus pour le système percutant en général, et pour celui de Brunéel en particulier. Expériences de 1832.

La Commission posa, comme principe fondamental, *que l'amorce et la cartouche devaient être réunies*, et fit les propositions suivantes :

1°. Donner à la chambre de la culasse le diamètre de l'âme ;

2°. Substituer un cran de sûreté au cran du repos ;

3°. Fixer le guidon sur le canon ;

4°. Retourner la cartouche en chargeant l'arme, de manière à introduire le sabot le premier ;

5°. Faire les cheminées en acier assez dur pour qu'il n'ait pas besoin d'être trempé, attendu que plusieurs cheminées trempées s'étaient brisées dans le tir.

L'acier fondu non trempé, résistant suffisamment au choc du chien, fut adopté.

La Commission des fusils percutants, pour atténuer autant que possible les chances encore assez nombreuses de ratés de capsule, essaya d'abriter le fulminate de l'amorce par une couche de cire, mais ce moyen ne réussit pas ; comme elle touchait alors au terme de ses travaux, elle

ne fit qu'indiquer le vernis. Les changements qu'elle avait proposés furent appliqués à six cents fusils.

Expériences en Afrique. 1835.

Sur la proposition du Comité de l'artillerie, on mit ces armes en essai en Afrique, afin qu'on pût juger des avantages et des inconvénients qu'elles présenteraient en campagne. Un des premiers résultats de ces nouvelles épreuves fut de faire supprimer les stries pratiquées jusqu'alors sur le cône de la cheminée pour mieux retenir la capsule. On reconnut qu'elles livraient passage à l'humidité, et occasionnaient, par suite, des ratés.

Les armes en essai se comportèrent bien dans les expéditions, par des temps de pluie et de neige; les officiers et les soldats s'en montrèrent satisfaits.

Il fut constaté qu'une couche de vernis sur le fulminate, et qu'un coup de fraise donné à l'orifice supérieur du cône de la cheminée pour diminuer la surface du plan de percussion, mettaient le fusil Brunéel modifié dans de bien meilleures conditions, sous le rapport des ratés. Comparé au fusil à silex modèle 1822, il ne donnait plus que 1 raté contre 32, et il n'y avait jamais de longs feux.

On recueillit aussi, pendant la durée de ces expériences, plusieurs renseignements précieux qui peuvent se résumer ainsi qu'il suit :

La charge fulminante d'une capsule doit être tassée aussi fortement qu'il est possible de le faire; il convient de la garantir par une légère couche de vernis.

La capsule doit être mise à fond; elle s'enflamme d'autant plus facilement que le plan de percussion de la cheminée est plus petit. Il vaut mieux, sous le rapport du tir, diminuer ce plan en fraisant l'ouverture supérieure de la lumière qu'en faisant un chanfrein extérieur.

L'amorce fulminante est moins apte que la poudre ordinaire à enflammer la charge humide d'une arme à feu;

ependant, en ajoutant de la poudre sèche dans le canal de umière, on peut faire partir cette charge, même quand elle st devenue pâteuse.

Il est très-important de charger une arme à percussion immédiatement après qu'elle a fait feu, et de boucher parfaitement le canal de la cheminée.

Après avoir brûlé une ou deux capsules sur une charge qui n'est pas partie, on favorise la déflagration en bourrant de nouveau avec force.

Le canal qui conduit le jet fulminant doit être aussi court et aussi direct que possible.

Le jet fulminant communique le feu à la charge, lors même que la cheminée a été bouchée par une cheville en bois enfoncée à refus; il peut, non-seulement percer le papier d'une cartouche dans le canon, mais encore tous les doubles de sa partie reployée, lorsqu'on les fait correspondre à la lumière.

Pendant qu'on s'occupait de ces recherches, plusieurs armes à percussion furent proposées au Ministre de la Guerre; on ne mentionnera que les deux principales : celle de M. Charoy et celle de M. Heurteloup.

Ce qui caractérisait particulièrement le fusil de M. Charoy, c'était son amorçoir, consistant en un tube dans lequel glissaient les capsules sous la pression d'un ressort à boudin. Ce tube était fixé à la partie antérieure de la platine sur un pivot autour duquel il pouvait décrire un certain arc; abandonné à lui-même, il était relevé par le jeu d'un ressort; lorsqu'on l'abaissait par la pression de la main, une ouverture ménagée à son extrémité venait couvrir la cheminée. La capsule qui remplissait juste l'ouverture se plaçait naturellement sur le cône où le frottement suffisait pour la maintenir. Le Ministre ordonna de faire des expériences comparatives entre cette arme et le fusil Brunéel modifié. Elles ne purent avoir lieu qu'en

Fusil Charoy. 1831.

1835, par différentes causes, notamment les longs délais que prit l'inventeur pour modifier les 600 fusils qu'on lui avait demandés. Deux régiments en furent chargés, et la conclusion, partout unanime, fut que le fusil Brunéel corrigé était de tous points préférable à celui de M. Charoy.

Fusil Heurteloup. 1835.

Le fusil de M. Heurteloup avait beaucoup de ressemblance avec celui de M. de Valdahon, présenté en 1821. Un petit tube métallique, rempli de poudre fulminante, était logé en avant de la sous-garde. Quand on armait, une de ses extrémités venait se placer au-dessus de la cheminée. Le chien en s'abattant coupait la petite partie du tube nécessaire pour l'amorce et la faisait détoner. On pouvait tirer ainsi 70 ou 80 coups. Ce système fut trouvé trop compliqué pour des armes de guerre, et rejeté.

Perfectionnements du système Brunéel jusqu'en 1839.

Jusqu'en 1837, on n'avait donc encore trouvé rien de mieux que le système Brunéel, qui, comme on l'a vu, avait été déjà notablement perfectionné tant pour l'arme que pour la cartouche. Ainsi, la chambre de la culasse, primitivement conique, avait reçu la forme cylindrique; son diamètre avait été augmenté et rendu égal à celui de l'âme. Le canal de lumière, dans l'origine, était sinueux, évasé à son orifice intérieur, et débouchait au fond de la chambre; on l'avait fait plus direct, par conséquent plus court en le rapprochant de l'axe du canon, et son orifice intérieur arrivait en avant du fond de la chambre à l'effet de diminuer le nombre des ratés de canon. Le canal de la cheminée était fraisé à son orifice supérieur, afin de diminuer le plan de percussion. L'acier fondu, non trempé, avait été substitué, dans la fabrication des cheminées, à l'acier ordinaire trempé, pour empêcher la rupture du cône sous le choc du chien. Le cône était lisse, au lieu d'être strié. On fendait les capsules, afin d'éviter les éclats et les adhérences. On recouvrait le fulminate d'une couche de vernis pour le préserver de l'humidité. Enfin, la ron-

delle porte-capsule en liége, buffle, etc., avait été remplacée par un sabot en bois qui donnait plus de solidité à la cartouche.

Le progrès était manifeste. Il était déjà permis d'entrevoir l'époque où l'on toucherait le but; il fallait seulement ne pas s'arrêter. Au commencement de 1838, le Ministre ordonna donc de faire des essais en grand avec 10000 fusils à silex transformés d'après le modèle Brunéel corrigé, et répartis entre les principales garnisons de France.

A cette occasion, le Comité rappelant que, malgré les améliorations déjà obtenues, la confection de la cartouche exigeait encore trop de temps et de soins; que, dans des épreuves récentes, un caisson chargé avait fait explosion à la 60e balle qui l'avait atteint, à 200 mètres, demanda des essais avec la capsule libre, c'est-à-dire indépendante de la cartouche. Ces capsules étaient les mêmes que celles des cartouches Brunéel; comme on n'avait alors aucun moyen commode de les porter séparément, les soldats les mirent dans la poche de la veste. La première épreuve ne fut pas favorable à cette manière d'amorcer, parce que le conducteur des fusils fut plutôt gênant qu'utile pour placer la capsule directement avec les doigts. Essais avec la capsule libre. 1838.

On fit un nouvel essai, pendant lequel les armes passèrent onze nuits au bivouac, par des temps de gelée, de dégel et de pluie; il y eut des séances de tir par des froids de 3, 6 et 10 degrés au-dessous de zéro, et malgré cette température, les tireurs étaient en veste, à cause du mode adopté pour porter les capsules libres.

Dans un tir à la cible, par 10 degrés au-dessous de zéro, il y eut 1 capsule perdue sur 27 coups tirés.

Dans des feux de deux rangs, par 4 degrés au-dessus de zéro et par une pluie fine et serrée, il y eut 1 capsule perdue sur 12 coups tirés.

Dans des feux de deux rangs, par 4 degrés au-dessous de zéro, il y eut 1 capsule perdue sur 6 1/2 coups.

La Commission émit l'avis que le soldat ne pouvait pas placer les capsules avec la main, par les temps froids.

Ces premiers résultats, quoique peu favorables quant à l'usage de la capsule libre, ne parurent pas suffisamment concluants, parce qu'on pouvait les attribuer en partie au conducteur des fusils et à la mauvaise position de la poche de la veste pour l'usage particulier auquel on venait de l'employer. La Prusse, après avoir essayé et rejeté les systèmes Charoy, Robert et Lefaucheux, ainsi que tous les amorçoirs qui lui avaient été présentés, venait d'adopter la capsule libre, en la rendant seulement assez volumineuse pour que des soldats pussent la saisir facilement, même par des temps rigoureux. L'Angleterre avait suivi cet exemple; la capsule avait à sa base inférieure un rebord circulaire qui la rendait encore plus maniable. Ces deux espèces d'amorces employées avec des fusils sans conducteurs, furent expérimentées en France. Bientôt le modèle prussien fut écarté, comme produisant un grand nombre de ratés de platine, et beaucoup d'éclats dangereux dans les rangs. La capsule anglaise, par des températures de 2, 4 et 5 degrés au-dessous de zéro, ne donna pas non plus de bons résultats.

Sabots essayés pour la cartouche Brunéel.

Ce fut à la même époque qu'on essaya une nouvelle cartouche pour le système Brunéel. Les sabots en bois présentaient plusieurs inconvénients; il s'en était trouvé dans des munitions confectionnées avec soin à Paris, d'un diamètre trop fort, et qui s'arrêtaient dans le canon; souvent, enfin, des capsules tenaient trop dans leur logement; les tours dont on pouvait disposer à Alger ne suffisaient pas toujours pour en fournir la quantité nécessaire. On fit d'abord des sabots en papier roulé, et l'on en obtint de bons résultats,

sous le rapport de l'emploi dans le tir, et de la célérité de fabrication qui était ainsi décuplée ; mais cette innovation ne fut alors considérée que comme un moyen de remplacer, au besoin, le sabot en bois. En 1838, après plusieurs essais, on substitua au sabot en bois un dé en papier comprimé, ce qui dispensait de l'emploi de la colle.

Nouvelles expériences avec la capsule libre. 1839.

Cependant, le Comité, poursuivant toujours l'idée d'employer les capsules libres, demanda que l'on fit des recherches afin de trouver le meilleur moyen de les placer sous la main des tireurs, et que l'on ajoutât aux 10000 fusils transformés d'après le modèle Brunéel corrigé, 2000 fusils de ce même système, mais sans conducteur, pour étudier en grand l'emploi de la cartouche ordinaire avec la capsule libre. Ces 12000 armes furent réparties dans quatorze régiments vers la fin de 1839.

A la même époque, le Ministre donna l'ordre d'essayer la capsule anglaise attachée à la cartouche ordinaire au moyen d'un fil, comparativement avec la capsule libre à rebord et la cartouche à sabot en papier ; on obtint les résultats suivants :

	CARTOUCHE ordinaire avec capsule attachée	CARTOUCHE ordinaire avec capsule libre.	CARTOUCHE avec sabot en papier.
	coups	coups	coups
Ratés de platine..............	1 sur 263	1 sur 383	1 sur 66
Ratés de canon, en général (*).	1 sur 1841	1 sur 958	1 sur 179
Capsules perdues............	1 sur 62	1 sur 73	1 sur 43
Justesse du tir, coups dans la cible à 200 mètres..........	1 sur 17,4	1 sur 16	1 sur 23,6
Vitesse des feux. — Cartouches brûlées en 13 minutes......	23,8	25,1	24,1

(*) La Commission fait observer que les ratés de canon au premier coup ne sont pas concluants, parce que les tampons de drap graissé n'étaient pas disposés pour abriter suffisamment la capsule à rebord.

Les fusils avec lesquels on employait la capsule libre à rebord étaient sans conducteur ; les amorces étaient placées dans une poche en cuir, fixée au porte-giberne, à bonne portée de la main du soldat. La vitesse des feux fut constatée au moyen de feux de deux rangs exécutés par les temps variables de la saison (janvier 1840).

La solidité des cartouches fut éprouvée par une course de 1 000 mètres au pas gymnastique, avec dix cartouches séparées les unes des autres, et mises, la balle en bas, dans l'un des compartiments de la giberne.

	CARTOUCHE ordinaire avec capsule attachée.	CARTOUCHE ordinaire avec capsule libre.	CARTOUCHE avec sabot en papier.
Cartouches distribuées......	500	490	500
Cartouches sans capsule après la course................	52	"	25
Cartouches réduites à demi-charge, au moins.........	23	24	48

D'après ces résultats, la Commission des fusils percutants émit l'avis que la cartouche ordinaire avec capsule anglaise attachée était inférieure à la cartouche à sabot en papier. Elle demanda de soumettre, sur une assez grande échelle, les cartouches offrant des chances de succès aux épreuves comparatives suivantes :

1°. Chargement et transport dans les caissons ;

2°. Transport dans les gibernes, avec courses au pas gymnastique;

3°. Feux de deux rangs par des temps froids;

4°. Séjour au bivouac, par un temps pluvieux, des armes chargées et ayant déjà tiré.

On fit, peu de temps après, de nouvelles expériences, afin de comparer la cartouche avec sabot en papier à la

cartouche ordinaire, avec capsule libre à rebord, dans diverses circonstances du service, et surtout par des températures au-dessus et au-dessous de zéro, afin qu'on ne pût pas attribuer à l'action du froid des effets produits par la seule difficulté de prendre les capsules dans une poche convenablement disposée. Dans cinq séances de feux de deux rangs, par un temps assez doux, et six séances des mêmes feux par un temps froid, on constata les faits suivants :

	TEMPÉRATURE MOYENNE de 10°,[illegible] centigrades au-dessus de zéro.		TEMPÉRATURE MOYENNE de 4°,3 centigrades au-dessous de zéro.	
	Cartouche avec sabot en papier.	Cartouche ordinaire avec capsule libre.	Cartouche avec sabot en papier.	Cartouche ordinaire avec capsule libre.
Cartouches brûlées en 13'	24,1	25,1	24,7	24,7
Cartouches sacrifiées....	1 sur 56	"	1 sur 57	"
Capsules perdues.......	"	1 sur 56	"	1 sur 39

De toutes les observations faites dans ces essais, la Commission des fusils percutants conclut que la capsule à rebord est plus en harmonie, par sa grosseur et l'épaisseur du cuivre, avec les fusils modèle 1822 transformés, que la petite capsule dont on s'était servi jusque-là. La cheminée étant plus grosse, lui paraissait d'un meilleur usage que celle de la petite capsule.

Jusqu'à la limite de 5 degrés au-dessous de zéro, elle trouvait la cartouche ordinaire, avec des capsules à rebord placées dans une poche fixée sur le devant du porte-giberne, préférable à la cartouche à sabot en papier, parce qu'elle était plus solide, parce que la vivacité des feux n'était point ralentie, et parce que l'on pouvait consommer toutes les cartouches en donnant quelques capsules en sus

par paquets. Par des froids plus rigoureux, le chargement avec la capsule libre offrait encore des chances de succès.

Système bavarois. 1839.

Le système percutant fut adopté en 1839 dans l'armée bavaroise. La capsule, mise avec la main, avait été préférée à toute autre manière d'amorcer; elle ressemblait, par sa forme et ses dimensions, à la grosse capsule à rebord que l'on essayait alors en France; les amorces étaient portées dans une poche dont l'orifice était garni intérieurement d'une bande de peau de mouton, la laine en dehors, pour empêcher les capsules de sortir par accident. Cette poche, placée sur le devant du baudrier de la giberne, était fermée par une petite patelette en cuir.

Dans l'été de 1840, les éventualités de guerre obligèrent le Ministre à donner l'ordre au Comité de présenter immédiatement un modèle de fusil à silex transformé au système percutant sans conducteur, et un modèle de fusil neuf à percussion.

Transformation modèle 1840.

Le Comité, mettant à profit les lumières recueillies dans les nombreuses expériences dont on vient d'esquisser la marche, proposa d'abord un modèle de fusil à silex transformé, dont voici les principales dispositions :

La nécessité de visser la cheminée dans un écrou trempé entraînait le remplacement de la culasse à bouton plein par une culasse à chambre en fer cémentée; et l'on rognait le canon pour enlever l'ancien tonnerre, de manière à ne pas augmenter la longueur totale de l'âme.

Le guidon, jusqu'alors fixé sur l'embouchoir dont la mobilité dérangeait la ligne de mire, était brasé sur le canon.

La chambre était de même diamètre que l'âme; le canal de lumière était direct, et à une distance telle de l'axe du canon, que la ligne de mire n'était pas masquée par les capsules à rebord.

Une hausse placée sur la culasse portait le but en blanc à 150 mètres, et donnait plus de facilité pour ajuster.

On supprimait le bassinet, la batterie et son ressort, et l'on bouchait avec des pièces en fer l'encastrement du bassinet ainsi que les trous des vis devenues inutiles.

Le chien à silex était remplacé par un chien disposé pour faire office de marteau, en recouvrant suffisamment la capsule. La direction et les formes de la crête étaient appropriées au maniement d'armes.

Tels sont les caractères distinctifs de la transformation modèle 1840. Elle était applicable au fusil modèle 1822 et aux fusils de modèles antérieurs.

On passa un marché avec M. Charoy, afin d'être en mesure d'employer les procédés d'après lesquels il obtenait la prompte dessiccation (*) du vernis dont on recouvrait le fulminate.

Enfin, on reconnut, après quelques recherches, que pour donner au sommet de la cheminée une résistance suffisante, il suffisait de tremper la partie supérieure du cône sur une hauteur de 2 millimètres, et de recuire ensuite toute la cheminée au bleu.

Bientôt après, le modèle de fusil neuf percutant fut adopté. Ses dispositions principales étaient les mêmes que celles du fusil transformé; seulement, la platine imitée de celle du fusil de guerre anglais, connue dans l'arquebuserie de luxe sous le nom de *platine renversée,* était à chaînette, et un ressort unique remplaçait le grand ressort et le ressort de gâchette de la platine à silex. Fusil neuf modèle 1840.

Le Comité avait eu, pendant le cours de ces derniers travaux, à examiner un grand nombre de propositions relatives au système percutant; on mentionnera seulement Système Consolé.

(*) Les amorces recouvertes de ce vernis ont donné les résultats suivants :
Après deux jours d'immersion dans l'eau, 99 capsules sur 100 ont détoné.
Après neuf jours d'immersion dans l'eau, 96 capsules sur 100 ont détoné, etc.



les plus importantes, celles dont il est resté quelque application.

Le système de transformation de M. Consolé nécessite l'emploi d'une cartouche spéciale. Voici en quoi il consiste : on place entre les mâchoires du chien une pièce en fer qui sert de marteau. L'amorce est renfermée dans un petit tube attaché à la cartouche; elle se place dans le bassinet qui est recouvert par une autre pièce sur laquelle frappe le chien.

L'Autriche a adopté ce système, qui fut rejeté en France.

Fusil à aiguille. On repoussa aussi le fusil inventé par M. Dreysse, de Sommerda, qui a été perfectionné depuis et est devenu, dans ces derniers temps, le fusil à aiguille adopté en Prusse pour une partie notable de l'armée. L'amorce fulminante est, entre le plomb et la poudre, à la base d'un sabot en carton qui reçoit la balle sur la face opposée, creusée à cet effet. L'inflammation est produite par une tige mince, à laquelle on donne le nom d'*épingle* ou d'*aiguille*, qui se meut, dans le sens de l'axe du canon, par l'action d'un ressort à boudin.

Divers autres modèles, plus ou moins imités de ceux de MM. Pauly, Lefaucheux, Robert et de Valdahon, furent successivement examinés et repoussés.

Les dispositions essentielles du fusil à percussion paraissant fixées, les inventeurs portèrent leurs efforts sur la cartouche. Les projets qui furent présentés peuvent être séparés en deux groupes distincts : ceux où la capsule est fixée dans les plis de l'excédant de papier de la cartouche, tels que les modèles de MM. Baas, Belchamps, Pianelli, Collin, etc., et ceux où la capsule se place dans un sabot ou rondelle en bois, en liége ou en papier, comme l'ont proposé MM. Cegonzat, Solon et Luffanour, ou bien encore encastrée dans du plomb, selon les idées de MM. Reclus et Thiéry. Ce dernier groupe fut écarté, à cause de la complication et de la difficulté des approvisionnements.

Quant aux cartouches portant leur amorce fixée à la partie vide et repliée du papier, on trouva que, dans les transports, elles manquaient de solidité, et que les parcelles de papier qui restaient autour de la capsule, après avoir amorcé, masquaient souvent le guidon au tireur.

Expériences sur les divers modèles de cartouches.

Il restait donc toujours d'importantes et difficiles questions à résoudre. Le mode d'amorcer n'était pas encore fixé. En supposant le choix fait, puisqu'on avait reconnu la nécessité d'approvisionner les soldats de capsules de rechange, même quand la cartouche portait son amorce, il fallait encore décider comment seraient portées et distribuées ces capsules supplémentaires, dans toutes les circonstances du service.

Pour avoir la solution de ces diverses questions, on forma douze Commissions dans douze régiments d'infanterie; chacune était présidée par un officier général; les membres étaient les officiers supérieurs et trois capitaines du corps, et le sécretaire seulement appartenait à l'artillerie. Elles furent chargées d'éprouver comparativement trois espèces de cartouches, savoir :

La cartouche ordinaire portant la capsule à rebord attachée par un fil à la partie repliée du papier;

La cartouche avec sabot en papier comprimé portant la capsule;

Enfin, une cartouche proposée par MM. Clère et Drapeyron; elle était tronconique et portait à l'un de ses bouts une capsule cylindro-conique fixée par deux ligatures de fil ciré.

Huit de ces Commissions eurent, en outre, à essayer la cartouche ordinaire avec la capsule libre à rebord portée dans une poche de deux modèles différents : la poche à ressort et la poche bavaroise, dont on a précédemment fait mention.

La solidité des cartouches fut éprouvée dans trois séances

où l'on parcourut au pas gymnastique 1200 à 1500 mètres avec les cartouches éparses dans les gibernes, la balle en bas. Sur les huit Commissions chargées d'essayer la capsule libre, quatre donnèrent la préférence à ce système; trois à la capsule attachée à la cartouche ordinaire, et une à la cartouche avec sabot en papier. En ne s'occupant que des trois modèles essayés dans les douze régiments, la cartouche avec sabot en papier fut mise au premier rang par sept Commissions; la cartouche ordinaire avec capsule attachée, par cinq; et celle de MM. Clère et Drapeyron, par une seulement.

La vitesse du tir fut constatée par des feux de deux rangs exécutés pendant le jour, dans l'obscurité, et par un temps pluvieux. Sur les huit Commissions qui essayèrent la capsule libre, six la mirent en première ligne. Les trois autres systèmes furent classés par les douze Commissions ainsi qu'il suit :

Cartouche ordinaire avec capsule attachée, au premier rang par 7 suffrages.

Cartouche à sabot, par 6 suffrages.

Cartouche Clère et Drapeyron, par 1 suffrage (pourvu que la capsule soit fendue).

L'obscurité ne modifia pas sensiblement les résultats obtenus pendant le jour avec les diverses cartouches essayées. La majorité des Commissions qui essayaient la capsule libre, lui trouvèrent l'avantage de permettre de s'aider du tact pour amorcer pendant la nuit. Dans plusieurs régiments, on put faire exécuter des feux de deux rangs par des températures de 5, 8 et 11 degrés au-dessous de zéro.

Voici les vitesses moyennes obtenues, et comparées à celles qui avaient été observées par ces mêmes Commissions, lorsque le thermomètre était au-dessus de zéro :

DÉSIGNATION des cartouches	VITESSE DU TIR PAR MINUTE		DIFFÉRENCE
	8 à 10 degrés au-dessus de zéro.	6, 8 et 11 deg. au-dessous de zéro.	
Ordinaire, capsule libre	2,16	1,80	0,36
Ordinaire, capsule attachée	2,09	1,82	0,27
A sabot en papier	1,93	1,78	0,15
Clère et Drapeyron	1,73	1,39	0,34

Sur cinq Commissions qui furent à même d'apprécier l'influence du froid quant à la rapidité du tir, trois placèrent en première ligne la cartouche ordinaire avec la capsule libre. Les vitesses obtenues dans chaque Commission, pour les quatre modèles de cartouches en essai, ne firent pas ressortir entre les chiffres qui les représentent des différences bien sensibles, lorsque le thermomètre était à 6 degrés et même à 11 degrés au-dessous de zéro.

A Saint-Omer, même par un froid de plus de 12 degrés, on constata la possibilité de placer les capsules à la main, et ce ne fut qu'à la fin des exercices que les doigts de quelques hommes furent trop engourdis pour extraire facilement la capsule de la poche.

Avis des Commissions.

Les Commissions furent unanimes pour reconnaître qu'un temps pluvieux n'influe en rien sur la vitesse du tir, quel que soit le modèle de cartouche employé.

Sous le rapport des ratés de platine, les huit Commissions partagèrent également leurs suffrages entre la cartouche ordinaire avec la capsule libre et la cartouche avec capsule attachée; et, en ne s'occupant que des trois modèles essayés par les douze Commissions, il y eut six suffrages pour la cartouche ordinaire avec capsule attachée, et un nombre égal pour la cartouche à sabot en papier. La cartouche de

MM. Clère et Drapeyron fut mise au dernier rang, à l'unanimité; entre autres défauts graves, le premier choc du chien produisait habituellement un raté, la capsule n'étant presque jamais bien mise à fond par le tireur.

Les huit Commissions mirent au premier rang la cartouche ordinaire avec la capsule libre, pour la simplicité de l'outillage et la célérité de la confection. Les douze Commissions, à la majorité de neuf contre trois, donnèrent la préférence à la cartouche ordinaire avec capsule attachée.

Cinq des huit Commissions qui eurent à essayer deux modèles de poche porte-capsules donnèrent la préférence à la poche bavaroise.

En résumant les conclusions des Commissions, on trouve les avis ainsi partagés entre les trois modèles de cartouche reconnus susceptibles de faire un bon service :

Cartouche ordinaire avec capsule libre, à rebord.	5
Cartouche ordinaire avec capsule attachée.......	4
Cartouche avec sabot......................	3

La cartouche de MM. Clère et Drapeyron fut rejetée à l'unanimité.

Expériences sur la confection et le transport des cartouches.

Pendant que ces épreuves étaient en cours d'exécution, quatre écoles et quatre directions d'artillerie faisaient des essais sur la confection et le transport dans les caissons des quatre modèles de cartouche dont il vient d'être question.

Pour la facilité de confection, la cartouche ordinaire avec 15 capsules libres au paquet fut mise au premier rang;

La cartouche ordinaire avec capsule attachée, et la cartouche à sabot, *ex æquo*, au deuxième rang;

La cartouche de MM. Clère et Drapeyron, au troisième rang, avec cette annotation : *peu praticable*.

Pour la solidité dans les transports, on mit la cartouche à sabot en papier, au premier rang;

La cartouche ordinaire avec capsule libre, au deuxième rang;

La cartouche ordinaire avec capsule attachée, au troisième rang.

La cartouche de MM. Clère et Drapeyron, au quatrième rang.

En résumé, l'unanimité des Commissions rejeta formellement la cartouche de MM. Clère et Drapeyron; une forte majorité relégua au troisième rang la cartouche avec sabot en papier; la cartouche ordinaire avec capsule attachée n'obtint que quatre suffrages; plusieurs des Commissions qui s'étaient prononcées pour une cartouche portant son amorce, proposèrent de donner aux soldats des capsules libres; de plus, l'importante question de la confection, de la démolition et de la conservation fut résolue par l'expérience d'une manière tout à fait contraire à l'adoption de la cartouche ordinaire avec capsule attachée. Avis des Commissions

La majorité adopta la cartouche ordinaire avec la capsule libre à rebord placée à la main, et ce système ne fut jamais mis au delà du deuxième rang par les Commissions qui ne lui donnèrent pas la préférence; enfin, la même majorité se prononça pour la poche bavaroise.

D'après ces considérations, le Comité proposa d'adopter provisoirement la cartouche ordinaire et la capsule libre placée dans la poche dite *bavaroise,* avec toute réserve pour les perfectionnements ultérieurs. Adoption de la capsule libre.

Cet avis fut approuvé par le Ministre, le 13 juin 1841.

C'était un nouveau pas dans la voie suivie pour arriver à l'application du système percutant aux armes de guerre; la tâche de l'infanterie, dont plus de vingt-cinq régiments avaient successivement concouru aux travaux entrepris, touchait à son terme. Les observations recueillies dans des épreuves étendues avaient mis à même de corriger les éléments du système Brunéel; on était fixé sur les mo-

dèles d'armes à percussion, transformées ou neuves, sur la cartouche et sur le mode d'amorcer. Il restait à déterminer le mode de transport et de distribution des capsules.

Mode de transport et de distribution des capsules.

On avait d'abord imaginé de les placer sur un rectangle de papier plié en plusieurs doubles, d'une épaisseur égale à la hauteur de la capsule. Ce rectangle était percé de quinze trous comme un crible; chaque trou servait de logement à une capsule; on distribuait donc quinze amorces pour dix cartouches. Ces rectangles étaient enveloppés de papier et réunis aux paquets de cartouches, en sorte que la distribution en était facile; mais l'épreuve des transports fit constater : 1° que le paquet de capsules était un obstacle pour serrer convenablement les paquets de cartouches, dans le chargement des coffres; 2° que les capsules pouvaient percer l'enveloppe de leur propre paquet et celle d'un paquet voisin; 3° qu'elles pouvaient même crever une cartouche. Malgré ces inconvénients, on continuait, faute de mieux, à employer provisoirement ce mode d'empaquetage, lorsqu'on trouva un moyen simple de réunir les amorces aux cartouches, sans compromettre la conservation des munitions dans les transports. Les capsules sont mises dans un petit sachet en papier, dont la confection est facile; elles s'y trouvent maintenues et assez séparées pour ne pas frotter les unes contre les autres : ce sachet, peu volumineux, se place à l'un des bouts du paquet de cartouches sous un pli du papier d'enveloppe. Les épreuves de confection et de transport ont été favorables à cette disposition : c'est celle qui est maintenant employée. Seulement, on a réduit à 12 le nombre des capsules, parce que l'expérience a montré que ce nombre était suffisant.

Cheminées chanfreinées.

Tous les éléments du système percutant paraissaient convenablement déterminés, lorsqu'un rapport de l'inspecteur général des bataillons de chasseurs à pied signala de nombreux

ratés. En même temps, le colonel inspecteur des manufactures d'armes faisait observer qu'il serait utile d'examiner de nouveau les relations établies entre la capsule et la cheminée, attendu que l'épaisseur du cuivre lui paraissait être la cause des ratés dont on se plaignait. Cet officier supérieur ajoutait que, malgré tous les efforts des manufactures, il serait peut-être difficile d'obtenir, avec les armes de la cavalerie, la détonation de la capsule. Antérieurement à 1840, les capsules détonaient facilement sous le choc du chien; elles étaient faites alors avec du cuivre plus mince; mais leurs éclats parurent dangereux, et elles se déformaient dans les trausports. On s'était donc déterminé à augmenter l'épaisseur du cuivre dans les Tables des dimensions arrêtées en septembre 1840; c'était à ce changement que semblaient devoir être attribués les ratés dont on se plaignait.

Une Commission spéciale fut chargée d'étudier la question; elle proposa de diminuer le plan de percussion de la cheminée, en faisant un chanfrein au sommet du cône; d'après les expériences de la Commission des armes portatives, en 1829, on augmentait ainsi les chances de déflagration de l'amorce, et en même temps on s'assurait que les capsules seraient plus aisément mises à fond, lors même que la couche de vernis recouvrant le fulminate aurait légèrement diminué le diamètre intérieur de la capsule, en formant un petit bourrelet contre ses parois. Les expériences faites sur les cheminées chanfreinées donnèrent la certitude que cette modification faisait disparaître, même dans les circonstances les plus défavorables, telles que celle d'un grand ressort énervé ou d'armes chargées et exposées au bivouac par la pluie, les ratés que l'on avait signalés.

Défauts des fusils modèles 1840.

Le mode de transformation adopté en 1840 satisfaisait, à la rigueur, aux conditions du problème, mais il présentait beaucoup de difficultés et d'inconvénients dans l'exé-

cution. Il fallait soumettre de nouveau aux épreuves réglementaires les canons transformés, puisqu'ils étaient coupés et taraudés au tonnerre, et qu'ils recevaient une nouvelle culasse. Il en résultait des rebuts assez nombreux qui s'élevaient jusqu'à 10 pour 100. Les culasses à chambre ne pouvaient être remplacées dans les corps, puisqu'elles devaient passer au banc d'épreuve après la trempe, et, dès lors, on était obligé de renvoyer dans les manufactures pour ce genre de réparation un assez grand nombre d'armes.

Transformation modèle 1842. M. Arcelin, aujourd'hui colonel d'artillerie, proposa d'abord de boucher avec un grain la lumière des canons à transformer, de ne pas toucher au tonnerre, et de retrancher du côté de la bouche l'excédant de longueur produit par l'addition de la nouvelle culasse. Cela ne remédiait qu'en partie aux inconvénients du mode de transformation. Le même officier proposa bientôt après de visser normalement sur le canon, dont la lumière était bouchée comme on vient de le dire, un grain en acier pour servir d'écrou à la cheminée. Les filets du bouton de culasse s'engrenaient, en partie, dans l'extrémité inférieure de ce grain, pour l'empêcher de se dévisser lorsqu'on voudrait enlever la cheminée. Toutes les épreuves furent favorables à ce système, qui permettait de conserver les anciennes culasses, et produisait dans les dépenses de la transformation une économie notable. Il fut adopté, et c'est celui qui est maintenant en usage sous le nom de *transformation modèle* 1842.

Fusil neuf, modèle 1842. Des considérations analogues conduisirent à supprimer la culasse à chambre dans la fabrication des armes neuves; sur la proposition de M. le colonel de Poncharra, inspecteur des manufactures d'armes, on essaya de souder sur le tonnerre des canons neufs une masselotte en acier, destinée à servir d'écrou à la cheminée. Ces essais réussirent complétement et ce procédé fut adopté. On eut ainsi le fusil d'infanterie modèle 1842 pour remplacer le fusil modèle 1840.

En jetant un coup d'œil en arrière pour embrasser dans son ensemble la carrière si laborieusement et si lentement parcourue, afin d'arriver à l'application du système percutant aux armes de guerre, on trouve la confirmation de l'assertion énoncée au commencement de cette Notice : qu'en général, on ne doit pas conclure, par analogie, en faveur d'un système d'armement proposé pour l'armée, parce qu'il a du succès entre les mains des chasseurs. Ainsi, la culasse *à foudre,* d'un emploi si répandu dans l'arquebuserie de luxe, échoue complétement avec les armes de guerre; aucun amorçoir, quelque ingénieux qu'il soit, ne peut être mis entre les mains des troupes; et la capsule universellement adoptée par les tireurs doit être modifiée pour qu'elle soit d'un usage commode dans l'armée. Quant aux nombreux projets des inventeurs, si l'on pouvait penser qu'ils ont été rejetés à la légère, ou par cet esprit exclusif que l'on reproche si souvent aux corps spéciaux en général, et à l'artillerie en particulier, il suffirait de se rappeler que les questions relatives aux divers projets présentés, au moins les plus importantes, ont été traitées par des Commissions presque entièrement composées d'officiers d'infanterie; souvent l'artillerie n'y a été représentée que par un seul capitaine chargé de tenir la plume et de suivre particulièrement l'entretien des systèmes essayés, afin qu'ils pussent fonctionner jusqu'au terme des épreuves qu'ils devaient subir.

L'historique qui précède s'arrête à l'année 1843. Depuis lors, les armes à feu ont fait de grands progrès, et quelques lecteurs pourraient s'étonner qu'il n'en soit pas fait mention dans un livre imprimé en 1852. Si l'on s'est arrêté à cette époque, c'est que, comme l'indique le titre de la Notice, on a voulu faire, non l'histoire des armes de guerre à percussion, mais seulement l'historique de l'application du système percutant aux armes de guerre, et que, depuis 1843, le mode d'application n'a éprouvé aucun changement.

RAPPORT

SUR LE

PYROXYLE A BASE DE COTON

ET

SUR LES AUTRES MATIÈRES EXPLOSIVES ANALOGUES COMPARÉS A LA POUDRE (*).

INTRODUCTION.

L'étude du pyroxyle de coton et des autres matières analogues a été pour l'Artillerie une heureuse et opportune occasion de compléter des recherches antérieures sur les effets des substances explosives. Les vastes travaux qui ont été exécutés pendant près de deux années, n'ont pas amené des conclusions favorables à l'emploi du pyroxyle, tel qu'il a été jusqu'ici préparé; mais le résultat n'est pourtant pas entièrement stérile. On y trouve d'abord un nouvel et éclatant exemple du danger qu'il y aurait, dans les graves questions qui intéressent la défense de l'État, à accueillir trop facilement des découvertes se présentant même avec les apparences les plus avantageuses, avant d'en avoir examiné les conséquences sous toutes leurs faces. Ces travaux auront permis, en outre, d'observer beaucoup de faits intéressants et de recueillir des documents importants pour l'Artillerie.

(*) Ce Rapport est le travail d'une Commission formée en exécution d'un ordre ministériel du 4 janvier 1849, et qui était composée ainsi qu'il suit : MM. de Laplace, général de division, président; Piobert, général de brigade; Morin, colonel, rapporteur; et Pioet, capitaine d'artillerie.

Résumé historique.

Avant de rendre compte des résultats de l'examen fait par diverses Commissions, des matières explosives provenant de la réaction de l'acide azotique sur les fibres des substances végétales, il ne sera pas inutile d'indiquer succinctement la marche que cette étude a suivie dès que les premiers renseignements à ce sujet furent parvenus en France. Cette courte revue historique montrera que l'Artillerie n'a pas mis moins d'empressement que de persévérance dans les essais qu'a provoqués la découverte de ces matières si énergiques.

Premiers essais de fabrication.

Ce fut, à ce qu'il parait, dans les derniers jours du mois d'août 1846 que quelques journaux allemands annoncèrent pour la première fois que M. Schœnbein, professeur de chimie à Bâle, avait trouvé un moyen de rendre explosives les matières végétales à tissu fibreux, et que du coton préparé par ce chimiste possédait, à un haut degré, des propriétés analogues à celles de la poudre. Dans le même mois, M. Murchison, célèbre géologue anglais, membre correspondant de l'Institut, avait parlé de cette découverte à la réunion de l'Association britannique pour l'avancement de la science; mais, en France, les premiers renseignements publiés ne remontent qu'à la date du 7 septembre 1846 (*).

Le procédé employé par M. Schœnbein ayant été tenu dans le plus grand secret, on se mit à la recherche du moyen dont ce chimiste avait pu faire usage, et l'on se rappela qu'en 1838 (**), parlant du produit de l'action de l'acide azotique sur l'amidon, découvert et appelé xyloïdine par M. Braconnot, M. Pelouze avait annoncé que toutes les substances végétales ligneuses, trempées pendant quelques instants dans l'acide azotique monohydraté, se transformaient, ainsi que l'amidon, en une substance insoluble dans l'eau et très-inflammable.

(*) Journal *l'Époque* du 7 septembre 1846.

(**) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. VII, p. 713.

Le procédé indiqué par M. Pelouze à l'Académie des Sciences, le 15 octobre 1838, consiste à plonger du papier dans l'acide azotique à 1,5 de densité, en ne l'y laissant que le temps nécessaire pour qu'il soit pénétré, ce qui a lieu, en général, au bout de deux ou trois minutes, et à le retirer ensuite pour le laver à grande eau; on obtient ainsi une espèce de parchemin imperméable à l'humidité et d'une extrême combustibilité. M. Pelouze ajoute que la même chose arrive avec les tissus de toile et de coton.

Dès les premiers jours d'octobre, lorsqu'il avait été question des produits obtenus par M. Schœnbein, on s'était assuré, au laboratoire du Dépôt central de l'artillerie, que la préparation indiquée par M. Pelouze pour le papier azotique procurait au coton cardé des propriétés explosives. Ces données furent le point de départ des essais immédiatement entrepris dans cet établissement.

Dans une communication faite à l'Académie des Sciences le 16 novembre 1846 (*), M. Pelouze dit que « chacun peut » préparer une poudre au moyen de sa Note de 1838, et que » beaucoup de personnes l'ont, en effet, préparée le jour » même, pour ainsi dire, où il fut question pour la pre- » mière fois de la poudre dont l'auteur ne faisait connaître au » public ni le mode de préparation ni la composition. »

Le 9 octobre 1846, M. Morel, ingénieur-mécanicien, qui avait pris un brevet à la date du 3 du même mois, écrivait au Ministre de la Guerre qu'il croyait avoir résolu le problème de la préparation d'une matière qu'il appelait *fulmicoton*, et, le même jour, il faisait devant M. le général Gourgaud, président du Comité de l'artillerie, des expériences qui constataient l'énergie de ses produits.

Le 10 du même mois, M. Chodzko présentait des car-

(*) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, tome XXIII, page 900.

touches dont la matière principale paraissait être du coton, et, pour montrer leur force explosive, il exécutait devant le président du Comité, quelques essais de tir avec une carabine à balle forcée.

D'un autre côté, un chimiste allemand de Brunswick, M. Otto, dans une Note insérée au Journal de Francfort (*), faisait connaître qu'en plongeant du coton pendant une demi-minute dans de l'acide nitrique concentré, en le lavant ensuite à grande eau et le faisant sécher, il avait obtenu un produit explosif très-énergique. Des détails plus complets sur le procédé suivi par M. Otto (**) signalèrent l'avantage qu'il y avait à plonger le coton à plusieurs reprises dans l'acide nitrique.

Dans la première quinzaine d'octobre, et, par conséquent, avant que l'on eût connaissance du procédé indiqué par M. Otto, des essais de préparation du coton, fondés sur les procédés appliqués en 1838, par M. Pelouze, au papier et sur l'extension qui en avait été faite au coton, étaient, ainsi qu'on l'a déjà dit, suivis avec ardeur, et avaient produit des résultats assez remarquables, quant à la puissance balistique.

L'acide azotique concentré ne se trouvant à ce moment dans le commerce qu'en faible quantité, l'on ne put, dans le principe, donner à ces essais que peu de développement.

M. Knop, chimiste allemand (***) et M. Taylor (****), en Angleterre, annoncèrent peu de jours après qu'ils avaient employé avec succès un mélange de parties égales d'acide nitrique et d'acide sulfurique concentré. L'avantage de ce procédé ayant été constaté le 26 octobre, au laboratoire du Dépôt central, on l'adopta provisoirement pour

(*) Journal de Francfort, 5 octobre 1846. *L'Estafette* du 14 octobre 1846.
(**) Journal *la Quotidienne* du 16 octobre 1846.
(***) *Le Globe* anglais, 19 octobre 1846.
(****) Journal *le Times*, 24 octobre 1846.

les essais ultérieurs. On reconnut, dès lors, que le produit ainsi obtenu s'enflammait quand il était soumis pendant quelque temps à une température inférieure à 100 degrés.

Commission du Dépôt central de l'artillerie.

Le président du Comité, ayant été invité par dépêche ministérielle du 13 octobre 1846, à examiner les substances explosives présentées par M. Morel et par M. Chodzko, forma, le 6 novembre, une Commission chargée de faire les essais nécessaires et de continuer ceux qui avaient été déjà entrepris (*).

Les premiers effets balistiques rapportés par diverses personnes, soit dans les journaux, soit à l'Académie des Sciences, tout en constatant jusqu'à un certain degré la supériorité de la force explosive des nouveaux produits par rapport à la poudre ordinaire, n'en donnaient aucune mesure et n'offraient entre eux rien de comparable. La plupart avaient été obtenus avec des armes à balles forcées, et tous avaient pour terme de comparaison l'aplatissement des balles sur des corps durs ou leur pénétration dans des bois. Il fallait à l'Artillerie d'autres résultats; et, dès qu'on eut préparé régulièrement des quantités suffisantes de coton pyroxylé, on s'occupa d'y appliquer le procédé habituel d'épreuve des poudres de mousqueterie, et de déterminer, à l'aide du pendule balistique, les vitesses initiales que cette matière était susceptible de communiquer aux balles de fusil d'infanterie. Les premiers essais de ce genre furent exécutés le 31 octobre 1846, au pendule de la Direction des poudres, par des officiers attachés au Dépôt central, sur du coton préparé au laboratoire de ce dernier établissement, par immersion pendant des temps variables dans un mélange de parties égales d'acide

(*) Cette Commission fut composée de MM. Piobert, colonel d'artillerie; Morin, lieutenant-colonel; Fournier, chef d'escadron; Pioet et Daugny, capitaines.

azotique et d'acide sulfurique. On y essaya comparativement de la poudre de chasse extrafine d'Esquerdes. Ce premier tir, dont on examinera plus tard les résultats, montra tout de suite que le papier azotique donnait des effets très-irréguliers et laissait dans les armes un résidu considérable, mais que le coton communiquait aux balles une vitesse bien supérieure à celle que leur imprimait la même charge de poudre de guerre.

Ces essais furent continués les 4, 5, 11 et 24 novembre, tant avec les produits préparés au laboratoire du Dépôt central, qu'avec ceux qui avaient été présentés par M. Morel et par M. Chodzko. Ils offraient déjà des effets remarquables; mais la faible quantité de coton que l'on avait préparée au laboratoire du Dépôt central et la difficulté de se procurer des acides limitèrent ces expériences, dont on se bornera à citer les principaux résultats.

Vitesses communiquées aux balles de fusil d'infanterie de 25gr,8 et du calibre de 16mm,3, par des charges de pyroxyle à base de coton cardé.

Charges...	1gr,0		2gr,0	3gr,0	4gr,0
	Coton préparé au Dépôt central.				
Vitesses...	211m,60 202,21 201,39 208,71	205m,98	338m,20	»	509m,57
	Coton préparé par M. Morel.				
	»		328m,72	425m,22	507m,69

Ces vitesses n'ont pas été surpassées ni même atteintes, plus tard, avec les produits de la fabrication courante du Bouchet.

La Direction des poudres, à laquelle est confié le soin de fabriquer les poudres de guerre et du commerce, prit connaissance au Dépôt central, des premiers essais qui y avaient été exécutés, et fit quelques tentatives de fabrication vers la fin du mois d'octobre. Le 2 novembre, on était parvenu, au laboratoire de la Raffinerie de salpêtre, à préparer convenablement du coton en le trempant dans un mélange à volumes égaux d'acide azotique concentré et d'acide sulfurique. Commission du service des poudres et salpêtres.

Pour suivre ces essais, le Directeur des poudres avait formé une Commission (*) qui commença à fonctionner le 3 novembre, en faisant des expériences analogues à celles dont on vient de parler; elle détermina :

1°. Le degré de compression le plus favorable à l'intensité et à la régularité des effets balistiques du coton explosif dans les fusils, et, par suite, la longueur qu'il fallait donner aux charges.

2°. La progression relative des vitesses et des charges pour le pyroxyle et pour les diverses espèces de poudre. Ces expériences permirent de constater que les charges de coton, de poudre de chasse et de poudre de guerre, qui impriment la même vitesse à la balle de fusil d'infanterie, sont entre elles à peu près dans le rapport des nombres 1, 2 et 3.

Les moyens de production et le personnel dont dispose la Direction des poudres, lui ayant permis de fabriquer des quantités notables de pyroxyle, elle fut bientôt en mesure de répéter avec les pendules balistiques à canon, les expériences faites avec les fusils. Ce tir eut lieu avec un canon de 12, en fonte de fer, à la poudrerie du Bouchet, les 23 et 24 novembre, et l'on y employa des charges croissantes

(*) Cette Commission était composée de MM. Avéros, colonel d'artillerie; Paqueron, lieutenant-colonel; Mallet, chef d'escadron; Susane, capitaine, et de Mézières, élève commissaire des poudres et salpêtres.

de 100 à 800 grammes. On reconnut que, pour les canons comme pour les fusils, les charges de pyroxyle et de poudre de guerre qui impriment la même vitesse aux projectiles sont entre elles dans le rapport approché de 1 à 3.

Au tir des armes longues, on fit succéder celui des armes courtes; un premier essai fut exécuté avec une petite éprouvette en fer forgé, d'un modèle particulier, proposé par M. le colonel d'artillerie Aubertin. Mais cette éprouvette, qui avait 18 millimètres de diamètre intérieur et 18 millimètres d'épaisseur, éclata par l'effet d'une charge de 4gr,90 de pyroxyle, et blessa l'homme qui mettait le feu.

Un accident semblable se produisit sur un mortier-éprouvette en fonte, à la poudrerie du Bouchet, avec une charge de 46 grammes de pyroxyle, et blessa grièvement un poudrier.

Dans les dernières expériences, la Commission du service des poudres détermina la série des charges de coton, de poudre de guerre et de poudre de mine susceptibles de produire une même portée du globe de l'éprouvette, égale à 225 mètres, et reconnut que ces charges étaient respectivement de 42, de 88 et de 92 grammes.

Essais faits au point de vue de l'utilité industrielle et de la sûreté publique.

En même temps que l'Artillerie, qui a dans ses attributions la préparation des matières explosives destinées aux services publics et au commerce, s'occupait activement d'étudier les nouvelles substances, beaucoup de savants et d'ingénieurs entreprenaient des expériences, au double point de vue de l'utilité industrielle et de la sûreté publique.

Le Conseil de salubrité, chargé par le Préfet de police d'examiner le pyroxyle de coton et les matières analogues, eu égard au parti que l'industrie privée pourrait en tirer, essaya successivement les différents produits de la réaction de l'acide azotique sur les matières végétales; il rendit compte de ses essais de tir où l'on s'était borné à observer des effets de pénétration, et il signala les

dangers que présentent la préparation et l'emploi de ces produits.

De son côté, l'industrie des mines ne restait pas inactive; le 10 novembre 1846 (*), M. Combes, ingénieur en chef des mines, et M. Ch. Flandin, exécutaient, dans des carrières de calcaire grossier voisines d'Issy, des essais sur l'emploi comparatif de la poudre de mine et du pyroxyle de coton. En rapportant les résultats obtenus, ils signalaient un accident grave survenu dans l'opération du séchage du pyroxyle au moyen d'un courant d'air chauffé à la température moyenne de 60 à 68 degrés seulement.

Pour donner à toutes ces recherches un caractère d'unité et d'ensemble indispensable, ainsi que pour éviter la répétition des mêmes expériences par diverses Commissions, le Ministre de la Guerre forma, le 3 décembre 1846, une Commission unique et fortement constituée (**), qui prit le nom de *Commission du pyroxyle*. Commission dite du *pyroxyle*.

Après avoir pris connaissance des résultats obtenus tant par les Commissions qui l'avaient précédée que par les observations isolées de divers savants ou ingénieurs, la nouvelle Commission commença avec activité un vaste ensemble de recherches sur l'importante question qui lui était soumise.

(*) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, tome XXIII, page 940.

(**) Cette Commission fut composée de MM. le duc de Montpensier, président; Piobert, colonel d'artillerie, membre de l'Institut; Morin, lieutenant-colonel d'artillerie, membre de l'Institut; Pelouze, professeur de chimie, membre de l'Institut; Combes, ingénieur en chef des mines, membre de l'Institut; Paqueron, lieutenant-colonel d'artillerie; Fournier, chef d'escadron d'artillerie; Didion, chef d'escadron d'artillerie; Leblanc, chef de bataillon du génie; Susane, capitaine d'artillerie; Pioct, capitaine d'artillerie; Daugny, capitaine d'artillerie; Fiévet, capitaine d'artillerie; Frébault, capitaine d'artillerie de la marine; Maurey, commissaire des poudres et salpêtres; Maucourant, Danse et Bial, lieutenants au 5e régiment d'artillerie.

Essais de fabrication au point de vue de la perfection des produits, de l'économie, de la sécurité; observations des effets dans les armes portatives, dans les bouches à feu, dans les projectiles creux, dans les mines militaires, dans les carrières, dans les travaux publics; recherches des moyens d'atténuer les effets destructeurs des produits ainsi que les dangers de la fabrication, de la conservation et des transports, elle a tout embrassé sur une vaste échelle.

Pour déduire de l'ensemble de tous les faits observés les conséquences qui en découlent, on les classera selon la nature des effets étudiés, et l'on réunira, lorsqu'il y aura lieu, dans une même discussion tous ceux qui ont été obtenus, sur le même objet, par les diverses Commissions et par des observateurs isolés.

Travaux et recherches exécutés à l'étranger.

Avant de terminer cet aperçu historique de la découverte et de l'étude du pyroxyle, il ne sera pas inutile d'indiquer en peu de mots ce que l'on a pu apprendre de recherches analogues faites à l'étranger (*).

Ainsi qu'on l'a vu plus haut, M. Schœnbein n'a rien fait connaître sur les procédés de fabrication qu'il avait adoptés, et il a enveloppé son secret du plus grand mystère. Les expériences qu'il a faites se sont bornées à des effets de tir et de pénétration sans mesures exactes. En Angleterre, où il a porté et vendu sa découverte à M. J. Hall, de Dartford, fabricant de poudre, aucune expérience sérieuse n'a été faite devant la Commission qui avait été formée dans l'artillerie. On sait qu'un accident affreux a ruiné une partie des usines destinées à la préparation du pyroxyle à Dartford; et, d'après des renseignements assez récents, la

(*) On ne pense pas devoir parler, dans ce Rapport, des communications reçues, l'une de Mayence, l'autre de Vienne, au sujet de procédés de fabrication du pyroxyle dus à M. de Lenk, capitaine d'artillerie autrichienne, et à M. Vogler, de Vienne, parce que ces renseignements n'étaient pas complets.

fabrication et l'emploi de cette matière paraissent tout à fait abandonnés dans ce pays.

En Russie, les essais n'ont pas été très-étendus, et, après que l'on eut reconnu les dangers de la préparation et de l'emploi du pyroxyle, la fabrication et la vente en ont été interdites.

En Prusse, les études ont été poussées plus loin, ou, du moins, des renseignements plus étendus nous sont parvenus par un Mémoire de M. E. Kayser, 1er lieutenant à la 3e brigade d'artillerie, adjoint à la direction de la poudrerie de Spandau, travail dont on doit la communication à M. de Humboldt. Après avoir décrit le procédé de fabrication suivi à Spandau et qui est analogue à celui qui a été adopté en France, l'auteur conclut de quelques expériences que le pyroxyle de coton est beaucoup plus hygrométrique que la poudre, et présente, par conséquent, beaucoup plus d'inégalités dans les effets balistiques.

Il signale des inflammations produites à des températures assez faibles, ainsi qu'on l'a observé aussi en France.

Les charges équivalentes de pyroxyle et de poudre lui paraissent être dans les rapports suivants :

Dans les mines..................	1 à 4
Dans les armes courtes...........	1 à 3
Dans les armes longues	1 à 3 ou à 2.

L'irrégularité des effets balistiques lui semble être avec le pyroxyle, à peu près double de celle que l'on observe avec la poudre.

Enfin, M. Kayser rapporte que, dans le tir exécuté dans une casemate avec une bouche à feu, les servants, après un petit nombre de coups, furent obligés de se retirer, ayant les yeux vivement attaqués par les vapeurs acides.

Sa conclusion, qui a été admise en Prusse, est que le pyroxyle n'est pas propre à remplacer la poudre à tirer.

EXPÉRIENCES COMPARATIVES SUR LES EFFETS DES DIVERSES POUDRES, DU PYROXYLE DE COTON ET DES AUTRES PRODUITS ANALOGUES, DANS LES ARMES A FEU PORTATIVES.

Ce qui avait le plus vivement impressionné l'opinion publique, lors des premiers essais faits avec les nouvelles matières explosives, c'était leur grande énergie et la rapidité de leur inflammation; il importait donc de constater tout d'abord ce qu'il pouvait y avoir d'exact dans l'appréciation qui en avait été faite. Pour atteindre ce but, il fallait employer des moyens plus rigoureux que ceux que l'on avait généralement mis en usage, et se placer dans les conditions normales du tir des armes portatives et des bouches à feu.

Tel avait été l'objet des premières expériences de la Commission du Dépôt central et de celle du service des poudres.

Le tir du fusil au pendule balistique étant pour les armes portatives le mode d'épreuve le plus précis, des expériences aussi nombreuses que variées furent successivement exécutées avec cet instrument. Afin de pouvoir en comparer les résultats et les soumettre autant que possible à des lois continues, on entreprit, sur toutes les poudres et sur le pyroxyle de coton, des séries d'épreuves où, le poids et le calibre des balles restant le même, on se contenta d'abord de faire croître graduellement les charges jusqu'aux limites que la prudence ou l'irrégularité des effets ne permettait pas de dépasser.

Proportionnalité des forces vives aux charges.

Ces expériences ont fourni, sur les effets des diverses poudres dans les fusils, des résultats importants qui ont complété les connaissances que l'on possédait à ce sujet.

On sait que Hutton, dans ses recherches sur les vitesses initiales communiquées aux projectiles par différentes charges de poudre, a trouvé que ces vitesses variaient en raison directe des racines carrées des charges. Cette loi, que le physicien anglais n'avait entrevue que comme une rela-

tion approximative déduite de faits observés, est une conséquence du principe général des forces vives ou de la transmission du travail, ainsi que M. le général Poncelet l'a démontré d'une manière très-simple dans son *Introduction à l'étude de la mécanique industrielle*. Elle n'est même qu'un cas particulier de la loi plus générale énoncée en ces termes par ce savant géomètre, savoir que : « Les forces vives communiquées aux projectiles sont proportionnelles aux charges » qui les produisent. »

Mais il ne faut pas oublier que la démonstration de cette proposition suppose que le tir satisfait à deux conditions : la première, que la perte des gaz par la lumière et par le vent du projectile est nulle, ou du moins assez faible par rapport à la quantité totale des gaz produits, pour pouvoir être négligée ; la seconde, que la charge est assez complétement brûlée dans l'intérieur de la bouche à feu pour produire tout son effet.

Il était donc indispensable de reconnaître, par l'expérience, si ces conditions étaient assez exactement remplies pour que la loi énoncée ci-dessus pût être appliquée sans erreur notable.

Dans le courant de l'année 1846, du 4 mai au 5 août, M. le chef d'escadron d'artillerie Mallet avait exécuté sur les fusils d'infanterie des calibres de 18 millimètres et de $17^{mm},5$, au pendule balistique de la Direction des poudres, plusieurs séries d'expériences où il avait fait varier, dans des limites étendues, les charges et le vent des balles en employant toujours la même poudre, celle de mousqueterie.

La discussion des résultats de ces essais avait conduit aux conséquences suivantes :

1°. Les forces vives communiquées aux projectiles sont proportionnelles aux charges de poudre, ainsi qu'on le déduit du principe général des forces vives, ou, en d'autres termes, les vitesses sont proportionnelles aux racines car-

rées des charges, et en raison inverse des racines carrées du poids des projectiles;

2°. Tant que les charges de poudre sont entièrement brûlées dans l'âme, les forces vives communiquées s'écartent d'autant moins de cette loi que le vent est plus petit; et, pour les armes à balles forcées, la loi doit être complétement exacte.

Cette vérification avait d'ailleurs été étendue jusqu'à des charges de 15 grammes dépassant la moitié du poids du projectile, et pour des vitesses initiales de 550 et 580 mètres en une seconde.

Les données de ces expériences et les relations que l'on en a déduites entre les forces vives imprimées aux projectiles et les charges, sont consignées dans le tableau suivant :

MODÈLE du canon.	DIAMÈTRE du canon.	DIAMÈTRE de la balle.	POIDS de la balle.	VENT de la balle	FORMULES PRATIQUES DONNANT La force vive imprimée à la balle en fonction de la charge C en grammes.	La vitesse imprimée à la balle en fonction de la charge C en grammes.
	mm	mm	gr	mm		
1842.	18,00	16,30	25,80	1,70	$MV^2 = 47,0\,C$	$V = 133,7\sqrt{C}$
1816.	17,50	16,30	25,80	1,20	$MV^2 = 57,0\,C$	$V = 147,2\sqrt{C}$
1842.	18,00	17,00	29,00	1,00	$MV^2 = 60,0\,C$	$V = 142,4\sqrt{C}$
1816.	17,50	17,00	29,00	0,50	$MV^2 = 81,0\,C$	$V = 175,5\sqrt{C}$
1816.	17,55	17,40	31,30	0,15	$MV^2 = 89,8\,C$	$V = 167,0\sqrt{C}$
1816.	17,50	17,40	31,30	0,10	$MV^2 = 94,0\,C$	$V = 171,6\sqrt{C}$

Les résultats de ces six séries d'expériences, en confirmant tous la loi de la proportionnalité des forces vives aux charges, mettent en évidence la grande influence du vent des projectiles, et montrent que la suppression du vent par le

forcement des balles augmente considérablement la force vive communiquée.

Commission du service des poudres. Degré de compression, longueur de la charge.

La Commission du service des poudres s'était, dès l'origine, occupée d'étendre cette vérification aux autres poudres et au pyroxyle à base de coton. Pour fixer les conditions à la fois les plus favorables et les plus commodes du tir de cette dernière substance, elle exécuta préalablement des expériences spéciales à l'effet de déterminer le degré de compression, et, par suite, la longueur de charge qu'il convenait d'adopter pour le pyroxyle.

Ce tir fut exécuté à la charge de 3 grammes de pyroxyle que, d'après les premiers essais préliminaires, on savait correspondre à peu près, pour la vitesse imprimée à la balle, à celle de 8 grammes de poudre de mousqueterie en usage pour les cartouches d'infanterie.

La hauteur de la charge, balle et cartouche non comprises, a varié de 115 millimètres, hauteur que l'on obtient lorsque le coton n'est comprimé que par le seul poids de la baguette d'épreuve, jusqu'à celle de 25 millimètres, qui est le minimum qu'il soit possible d'atteindre en comprimant d'abord la charge à la main et en laissant tomber ensuite la baguette de 20 centimètres de hauteur.

On a d'ailleurs eu soin de comprimer le pyroxyle par partie, afin de rendre la densité aussi uniforme que possible.

Les résultats de ce tir, pour lesquels on a pris les moyennes de six coups, sont consignés dans le tableau suivant :

Longueur des charges en millimètres	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115
	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
Vitesses initiales..	413,85	422,37	435,78	434,61	453,58	441,41	425,39	417,10	427,72	412,08

L'examen de ces résultats ne montre pas, d'une manière évidente, quelle est la marche que suivent les vitesses par rapport à la densité du pyroxyle; mais, si on les représente graphiquement en prenant les longueurs de la charge pour abscisses et les vitesses pour ordonnées, et que l'on fasse passer entre tous les points ainsi déterminés une courbe continue, on reconnaîtra que la plus grande vitesse correspond à peu près à la longueur de 60 à 65 millimètres.

Pl. II, fig. 1.

Les charges beaucoup plus longues avaient donné d'ailleurs des résultats moins réguliers, et les charges très-courtes fournissaient des vitesses beaucoup moindres. On s'arrêta donc à la longueur de 60 millimètres pour 3 grammes, ou de 20 millimètres par gramme de charge de pyroxyle. Ce qui correspond à un volume de $5^{cc},087$ par gramme ou à une densité de $\frac{1}{5,087} = 0,196$.

Relation des charges et des vitesses qu'elles impriment aux balles dans les fusils d'infanterie.

Après ces expériences préliminaires, la Commission du service des poudres a passé à l'exécution de celles qui avaient pour objet d'étendre aux diverses poudres et au pyroxyle, la vérification de la loi de Hutton.

Ces expériences ont été exécutées sur des poudres à mousquet et à canon du Bouchet, sur des poudres de chasse fines et extrafines d'Esquerdes, sur du pyroxyle fabriqué à l'atelier de chargement des capsules de guerre à Montreuil, sur du pyroxyle fabriqué au Bouchet et sur du fil de coton pyroxylé provenant aussi du Bouchet.

Toutes ces matières explosives ont été tirées dans un même canon de fusil d'infanterie du modèle de 1816, et successivement aux charges de $0^{gr},50$, 1, 2, 3, 4 grammes jusqu'à celle qui, avec chaque matière, communiquait à la balle une vitesse de 500 mètres environ.

La charge était mise à nu dans le fusil, et l'on a exécuté deux séries d'expériences, l'une, en enveloppant la balle

dans un rectangle de papier conforme au modèle adopté pour les cartouches d'infanterie, ainsi que cela est d'usage pour la réception des poudres de guerre; l'autre, en plaçant la balle entre deux rondelles de carton mince, comme on le fait pour les épreuves de poudre de chasse.

Les résultats de ce tir sont consignés dans le tableau suivant :

MATIÈRES EXPLOSIVES EMPLOYÉES	VITESSES COMMUNIQUÉES AUX BALLES DE FUSIL DU POIDS DE 25gr,80 PAR LES CHARGES DE													
	½ gr.	1 gr.	2 gr.	3 gr.	4 gr.	5 gr.	6 gr.	7 gr.	8 gr.	9 gr.	10 gr.	11 gr.	12 gr.	13 gr.
Tir à balle enveloppée d'une cartouche.														
	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m		m	m
Pyroxyle de Montreuil............	93,529	211,084	341,275	432,383	485,385	528,212	»	»	»	»	»	»	»	»
Poudre extrafine d'Esquerdes......	67,874	119,394	199,871	259,718	355,658	421,124	452,318	456,498	»	»	»	»	»	»
Poudre fine d'Esquerdes.........	64,790	113,273	197,193	257,224	315,556	354,056	404,925	414,778	»	»	»	»	»	»
Poudre à canon du Bouchet	30,153	93,344	153,952	214,575	258,359	299,972	344,146	377,529	408,745	438,480	462,341	488,317	516,178	»
Poudre à mousquet du Bouchet...	44,046	92,133	150,040	209,383	272,422	308,820	331,553	370,845	400,743	438,401	463,423	468,972	487,906	507,553
Tir à balle entre deux rondelles de carton.														
Pyroxyle de Montreuil............	77,181	183,322	340,778	444,223	481,943	548,848	»	»	»	»	»	»	»	»
Poudre extrafine d'Esquerdes.....	83,971	125,128	220,147	265,000	320,735	381,426	425,761	474,436	»	»	»	»	»	»
Poudre fine d'Esquerdes........	60,009	133,136	200,371	255,089	305,776	362,891	409,097	474,903	»	»	»	»	»	»
Poudre à canon du Bouchet.......	47,808	84,798	165,250	227,497	287,514	332,866	367,716	408,704	436,676	465,898	480,853	511,251	»	»
Poudre à mousquet du Bouchet...	52,976	97,060	159,883	224,426	282,654	321,543	349,046	373,026	413,155	436,778	448,536	472,280	487,129	508,198

L'examen de ces résultats montre que l'emploi de rondelles serait, aux faibles charges, défavorable aux matières explosives très-rapidement inflammables, et, qu'au contraire, aux grandes charges, il augmenterait leurs effets; tandis que, pour les poudres lentes, l'inverse aurait lieu pour les faibles charges, et qu'il n'y aurait pas de différence sensible pour les fortes charges.

Les vitesses communiquées aux balles dans ces deux tirs sont d'ailleurs assez peu différentes pour que l'on puisse prendre la moyenne entre les résultats qu'ils ont fournis à chaque charge, ce qui a conduit aux résultats consignés dans la première partie du tableau suivant; de ces données immédiates de l'expérience, on déduit facilement les valeurs des forces vives communiquées aux balles de fusil, et l'on forme la seconde partie du même tableau :

MATIÈRES EXPLOSIVES EMPLOYÉES.	VITESSES ET FORCES VIVES COMMUNIQUÉES AUX BALLES DE FUSIL DU POIDS DE 25gr,80 PAR DES CHARGES DE												
	½ gr.	1 gr.	2 gr.	3 gr.	4 gr.	5 gr.	6 gr.	7 gr.	8 gr.	9 gr.	10 gr.	11 gr.	12 gr.	13 gr.
1°. *Vitesses.*														
	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
Pyroxyle de Montreuil	85,355	198,203	341,029	438,304	490,683	538,330	»	»	»	»	»	»	»	»
Poudre extrafine d'Esquerdes.....	93.922	122,261	210,009	262,358	338,206	401,276	439,039	466,967	»	»	»	»	»	»
Poudre fine d'Esquerdes........	62.399	124,204	198.783	256,150	310,661	358,473	407,011	444,840	»	»	»	»	»	»
Poudre à canon du Bouchet.......	43,480	89,071	139.596	321,036	273.136	316,419	353,932	393,316	422.710	452,689	471,597	499,784	516,178	»
Poudre à mousquet du Bouchet ...	48,511	94,596	154,961	216,904	277.538	315.181	340,299	371,935	406.949	437,589	456.980	471.126	487.514	507.873
2°. *Forces vives.*														
Pyroxyle de Montreuil	19,16	103,32	305,89	505.17	633,29	762,82	»	»	»	»	»	»	»	»
Poudre extrafine d'Esquerdes.....	11,43	39,32	115.99	181,05	300.84	423,54	306,99	573,54	»	»	»	»	»	»
Poudre fine d'Esquerdes..........	10,28	40,74	104,34	173.26	234,85	339,30	437,40	522,49	»	»	»	»	»	»
Poudre à canon du Bouchet..	4,99	20,93	97,25	128,97	196,98	264,37	334.32	408,47	471,80	540,85	587,24	659,54	703,53	»
Poudre à mousquet du Bouchet....	9,21	23,63	63,44	124.51	203,38	362.30	305,77	363,27	437,28	505,91	551,41	586,09	627,83	681,08

Si, à l'aide de ces résultats, on calcule les forces vives imprimées aux balles, et qu'ensuite on les représente graphiquement en prenant les charges pour abscisses et les forces vives pour ordonnées, on voit tout de suite que les points déterminés sont, en général, sur une ligne droite passant par l'origine, ce qui démontre, comme les expériences de M. le chef d'escadron Mallet l'avaient déjà indiqué, que les forces vives sont proportionnelles aux charges. Si les forces vives imprimées par les petites charges semblent s'écarter de cette loi, cela tient évidemment à l'influence du vent relativement plus considérable pour ces charges que pour les grandes, ainsi que l'ont prouvé les expériences faites avec des balles de diamètres différents ou des vents de plus en plus petits. L'inclinaison des lignes fournies par la construction que l'on vient d'indiquer, permettant de déterminer pour chaque cas le rapport des forces vives aux charges exprimées en grammes, on en déduit les relations suivantes: Pl. II, fig. 2.

Pyroxyle de Montreuil................	$MV^2 = 159,25\ C$
Poudre extrafine d'Esquerdes..	$MV^2 = 82,14\ C$
Poudre fine d'Esquerdes...............	$MV^2 = 72,83\ C$
Poudre à canon du Bouchet............	$MV^2 = 59,00\ C$
Poudre à mousquet du Bouchet.........	$MV^2 = 52,50\ C$

Ces formules, qui représentent les résultats des expériences, montrent que, pour un même effet balistique, c'est-à-dire pour une même force vive imprimée à la balle, les charges de matières explosives, celle du pyroxyle étant prise pour unité, sont entre elles dans le rapport des nombres suivants:

Pyroxyle de Montreuil.....	1,00
Poudre extrafine d'Esquerdes............	1,94
Poudre fine d'Esquerdes................	2,19
Poudre à canon du Bouchet.............	2,70
Poudre à mousquet du Bouchet..........	3,04

Le tir, lorsque les charges allaient en croissant, a fait ressortir, à un degré bien plus saillant qu'on ne l'avait encore observé, quelques effets remarquables des matières explosives les plus vives et les plus énergiques. Les vitesses cessent de croître avec régularité et le tir devient incertain, lorsque la charge excède 5 grammes pour le pyroxyle, ce qui correspond à une vitesse de 530 à 540 mètres, et 6 à 7 grammes pour les poudres de chasse fines et extrafines, charge correspondant à des vitesses de 450 à 460 mètres environ. Il n'en est pas ainsi des poudres de guerre; les résultats sont réguliers, jusqu'à des charges de 12 à 13 grammes communiquant aux balles des vitesses de 500 à 510 mètres, et l'on verra plus tard que l'on a pu aller beaucoup au delà.

L'irrégularité de vitesse qui vient d'être signalée et celle qui en résulte pour la justesse du tir et pour la portée, avaient déjà été reconnues pour les poudres de chasse très-énergiques et attribuées à leur rapidité d'inflammation et d'action; il était donc naturel de penser que, si cet effet était encore plus marqué avec le pyroxyle, il devait tenir aussi à l'excessive rapidité d'inflammation et de combustion de cette matière.

Commission du pyroxyle.

Ces expériences, qui établissaient pour les fusils la relation entre les charges équivalentes de pyroxyle et des diverses poudres, ont été le point de départ des recherches entreprises sur les mêmes armes, par la *Commission du pyroxyle.*

Vitesses imprimées par une même charge aux balles de fusil dans des canons de différentes longueurs.

La quantité de gaz produits dans la déflagration des matières explosives à un moment donné, à partir de l'instant où le feu leur est communiqué, étant d'autant plus considérable que ces substances sont plus rapidement inflammables et combustibles, il était très-important de rechercher quelles pouvaient être les vitesses communiquées par la même charge de chacune des substances employées, à des balles de même poids, dans des canons de même calibre, mais de longueurs variées.

On pouvait en effet espérer que l'on déduirait de cette comparaison, sinon une appréciation exacte, du moins une estimation approximative de la tension moyenne des gaz développés dans l'explosion, et que, par suite, l'on obtiendrait des aperçus utiles sur l'effet que ces gaz pouvaient exercer sur les armes.

Expériences de la Sous-Commission de Paris.

En conséquence, les premières séries d'expériences exécutées par la Commission (*) eurent pour objet de mesurer au pendule balistique, les vitesses imprimées aux balles de fusil, de 17 millimètres de diamètre, pesant 28gr,8, par des charges de 8 grammes de poudre à mousquet et de 3 grammes de pyroxyle de coton, successivement tirées dans des canons de longueurs décroissantes, depuis celle du fusil d'infanterie jusqu'à la plus petite qui pût contenir les charges.

Pour l'exécution, on prit deux canons de fusil neufs, du modèle de 1842, que l'on a successivement coupés de manière à former les dix longueurs suivantes :

En calibres ..	64	49	38	29	22	16	11	7	5	4
En millimètres.	1083	833	646	493	374	272	187	119	85	68

On a tiré, à chaque longueur, cinq coups dans chaque canon à une même charge, de sorte que la moyenne des résultats obtenus a été prise sur dix coups.

Afin de dégager ces résultats des influences atmosphériques, on faisait, à chaque séance, une épreuve préalable de la force des matières explosives employées; et, en comparant les résultats obtenus à ceux que l'on avait

(*) La *Commission du pyroxyle*, afin d'accélérer la marche de ses travaux et de pouvoir en contrôler les résultats, forma deux Sous-Commissions opérant, l'une à Paris, avec le fusil-pendule de la Direction des poudres, et l'autre à Vincennes, avec le pendule de l'École d'artillerie.

8.

adoptés pour valeur moyenne, on corrigeait tous les résultats du tir d'un même jour. Ainsi, ayant admis comme conséquence des expériences antérieures, que 8 grammes de poudre communiquaient à la balle une vitesse de $391^m,72$, et 3 grammes de pyroxyle une vitesse de $403^m,10$, lorsque le tir d'épreuve du jour indiquait pour ces charges respectives des vitesses moindres ou plus grandes, on augmentait ou l'on diminuait, dans le rapport des différences observées, les vitesses données par les expériences.

Les tableaux suivants indiquent les vitesses observées et les vitesses ainsi corrigées.

Le but principal de ces recherches était de comparer les effets que produisaient, dans des canons de différentes longueurs, des charges de poudre et de pyroxyle qui, dans les canons des longueurs en service, imprimaient la même vitesse à la balle. On a déduit d'abord des résultats même des expériences, la charge de pyroxyle réellement équivalente, quant à l'effet balistique, à celle de 8 grammes de poudre, et on l'a trouvée égale à $2^{gr},86$; puis, à l'aide de la loi des vitesses proportionnelles aux racines carrées des charges, on a calculé les vitesses que cette même charge aurait imprimées aux balles tirées dans les canons de diverses longueurs employées.

Les vitesses communiquées aux balles ont été calculées d'après le recul du pendule balistique de la Direction des poudres, en plaçant le canon de fusil sur un châssis, de façon que la tranche de la bouche fût à 2 mètres de celle du récepteur balistique; le feu était communiqué par une platine à percussion.

Pour la discussion des résultats obtenus, il est nécessaire de rappeler que la force vive communiquée à la balle est, en vertu du principe des forces vives, égale au

double de la quantité de travail développé par les gaz, et que l'effet moyen de ces gaz ou l'effort constant, qui communique dans chaque cas à la balle la même force vive, est égal à la moitié de cette force vive divisée par la longueur du chemin parcouru dans le canon par le projectile. Il résulte de là que l'observation de la vitesse imprimée à la balle conduit directement à la mesure de l'effort moyen des gaz explosifs, quand on connaît la longueur d'âme parcourue par le projectile.

Il est bon d'ailleurs de remarquer que cette valeur ainsi déterminée est toujours inférieure à l'effort maximum, et d'autant plus que le canon est plus long par rapport à la charge. Les conclusions auxquelles ce genre de comparaison peut conduire, seront donc d'autant plus voisines de la vérité que le canon aura été plus court, ou que le projectile sera plus près de sa position initiale, ce qui correspond aux instants où il importe le plus d'étudier les effets dangereux.

La longueur d'âme occupée par la poudre et par le pyroxyle dans les expériences était la même et de 48 millimètres; en la retranchant de la longueur intérieure du canon, on a le chemin parcouru par le point postérieur de la balle dans le canon, et, en divisant par cette longueur la moitié de la force vive communiquée, on a obtenu l'effort moyen cherché.

Il convient de remarquer que cette estimation du chemin parcouru par le projectile, pendant qu'il est soumis à l'action des gaz, est celle que l'on admet ordinairement dans les calculs de ce genre, mais qu'elle n'est pas tout à fait exacte. Quoi qu'il en soit, la valeur adoptée ci-dessus, pour le chemin parcouru par le projectile sous l'action des gaz, est plutôt trop grande que trop faible; par conséquent, les valeurs des effets moyens que l'on en déduit sont

trop petites, et les conclusions que l'on en tirera seront vraies, à fortiori.

Cela posé, l'on a représenté graphiquement les résultats des expériences et du calcul de deux manières différentes.

Pl. II, fig. 3 et 4.

Dans la *fig.* 3, on a pris les longueurs d'âme parcourues par la balle dans le canon pour abscisses, et les forces vives pour ordonnées; dans la *fig.* 4, on a pris aussi les longueurs d'âme parcourues par la balle pour abscisses, et pour ordonnées les efforts moyens correspondants développés soit par les gaz de la poudre, soit par les gaz du pyroxyle. Les éléments de ces constructions sont consignés dans le tableau suivant, qui donne les résultats des expériences comparatives sur les vitesses, les forces vives et les efforts moyens développés par les gaz de la poudre de guerre et par ceux du pyroxyle de coton.

LONGUEURS D'AME		VITESSES COMMUNIQUÉES		FORCES VIVES COMMUNIQUÉES		EFFORT MOYEN EXERCÉ	
Totales.	Parcourues par la balle.	Par 8 gr. de poudre.	Par $2^{gr},86$ de pyroxyle.	Par la poudre.	Par la pyroxyle.	Par les gaz de la poudre.	Par les gaz du pyroxyle.
m	m	m	m			kil	kil
1,083	1,035	376,72	376,59	416,4	416,4	201,2	201,2
0,833	0,785	376,18	387,33	415,2	440,5	264,5	280,6
0,646	0,598	349,53	379,62	359,0	424,1	300,2	353,8
0,493	0,445	316,87	358,52	294,6	377,4	331,2	424,7
0,374	0,326	286,07	360,38	240,2	381,3	368,3	584,3
0,272	0,224	261,20	326,51	200,2	313,0	446,8	698,7
0,187	0,139	220,96	294,38	143,1	254,4	515,3	915,2
0,119	0,071	161,65	250,54	76,7	184,3	539,9	1297,9
0,085	0,037	115,27	175,94	39,0	90,8	526,9	1228,3
0,068	0,020	89,33	119,23	23,4	41,7	585,3	1043,5

Expériences de la Sous-Commission de Vincennes

Les mêmes expériences ont été exécutées, dans des conditions aussi identiques que possible, par la Sous-Commission de Vincennes.

Le tir au pendule balistique de cette École ayant montré que la charge de pyroxyle qui imprimait à la balle de $28^{gr},8$ la même vitesse que 8 grammes de poudre à mousquet, était de $2^{gr},77$, tandis qu'à Paris l'on avait pris $2^{gr},86$, les résultats du tir ont été ramenés, à l'aide de la loi de Hutton, à ceux qui correspondent aux charges respectives de 8 grammes de poudre et de $2^{gr},77$ de pyroxyle, et sont ainsi consignés dans le tableau suivant :

DATES des expériences.	LONGUEURS des canons en calibres.	POUDRE		PYROXYLE.			DIFFÉRENCES DE VITESSES.	
		Vitesses constatées.	Vitesses corrigées.	Vitesses constatées.	Vitesses corrigées.	Vitesses de 2gr,77.	De 8 grammes de poudre à 3 grammes de pyroxyle.	De 8 grammes de poudre à 2gr,77 de pyroxyle.
		m	m	m	m	m	m	m
2 février 1847....	64 calibres.	353,443	361,496	371,990	394,441	379,014	32,945	17,548
3 id..........	49 id.	338,811	341,409	372,455	376,796	362,064	35,287	20,655
4 id..........	38 id.	328,790	326,454	368,285	374,829	360,174	48,375	33,720
4 id..........	29 id.	302,005	299,860	355,567	361,814	347,668	61,954	42,808
5 id..........	22 id.	275,360	272,077	341,009	333,010	319,990	60,933	37,813
5 id..........	16 id.	238,431	235,589	326,716	319,053	306,588	83,464	60,999
5 id..........	11 id.	218,406	215,802	294,556	287,647	276,401	71,845	60,599
8 id..........	7 id.	152,936	151,322	254,745	239,906	230,526	88,584	79,204
8 id..........	5 id.	119,136	117,879	209,420	197,221	189,477	79,342	61,598
8 id..........	4 id.	89,826	88,878	131,934	124,249	119,370	35,371	30,492

On voit que ces résultats diffèrent extrêmement peu de ceux qui avaient été obtenus à Paris; pour ne pas allonger inutilement ce Rapport, on croit pouvoir se borner à la discussion des effets observés avec le fusil-pendule de la Direction des poudres. Discussion des résultats obtenus.

L'examen de la *fig.* 3 montre : Pl. II, fig. 3

1°. Que, pour la poudre, la force vive, et, par conséquent, la vitesse communiquée à la balle par une charge de 8 grammes, ne croît plus notablement au delà de la longueur de 80 centimètres correspondant à 49 calibres, ce qui prouve que, si les autres conditions du service n'exigeaient pas une longueur plus grande pour le canon, on pourrait s'en tenir à cette dimension, sans crainte de diminuer les effets balistiques;

2°. Qu'avec le pyroxyle, la force vive ou la vitesse maximum communiquée à la balle par une charge de $2^{gr},86$, paraît correspondre aussi à cette longueur de 49 calibres, et qu'elle semblerait devoir décroître avec des longueurs plus considérables;

3°. Qu'enfin, les forces vives communiquées par les charges de 8 grammes de poudre et de $2^{gr},86$ de pyroxyle sont égales pour les longueurs de $1^{m},083$ ou de 64 calibres, mais, qu'avec des longueurs plus grandes, le pyroxyle perdrait l'avantage qu'il a pour des longueurs plus petites.

L'examen de la *fig.* 4 conduit à des conséquences encore plus remarquables. On voit, en effet, qu'à partir de la longueur de $1^{m},083$, pour laquelle les charges de 8 grammes de poudre et de $2^{gr},86$ de pyroxyle ont imprimé aux balles les mêmes forces vives, et, par suite, ont développé les mêmes efforts moyens, l'effort exercé par les gaz du pyroxyle l'emporte toujours sur celui des gaz de la poudre à mesure que la longueur diminue; et que, pour les petites longueurs de canon, ou, ce qui revient à peu près au même, pour les premiers déplacements du projectile, la valeur Pl. II, fig. 4.

maximum de la tension moyenne des gaz du pyroxyle paraît correspondre à l'instant où le projectile s'est déplacé de 75 millimètres, et est alors de $1297^{kil},9$ ou de

$$\frac{1297^{kil},9}{0^{mq},0002545} = 5097000 \text{ kilogrammes}$$

par mètre carré, ce qui correspond à une pression de $493^{atm},4$, tandis que la tension moyenne maximum des gaz de la poudre ne s'élève qu'à $585^{kil},3$ ou

$$\frac{585^{kil},3}{0^{mq},0002545} = 2300300 \text{ kilogrammes} \quad \text{ou} \quad 227^{atm},7,$$

en prenant même la valeur correspondant à la plus faible longueur de canon qui paraît s'écarter un peu de la loi suivie pour les autres longueurs.

Il suit de là que la pression moyenne maximum des gaz de la poudre ne s'élèverait pas à la moitié de celle qui est exercée par les gaz du pyroxyle aux charges de même effet balistique.

Si maintenant l'on remarque que, d'après les dimensions du fusil d'infanterie, quand le projectile s'est déplacé de 75 millimètres, il se trouve dans une partie du canon où l'épaisseur du métal est de $0^{m},0054$, il est facile de voir, d'après une formule connue de la résistance d'un cylindre à la rupture, qu'en supposant le métal de qualité moyenne, la pression intérieure capable de produire l'éclatement serait, par unité de surface,

$$p = \frac{2E}{D} \cdot \frac{R}{10330} = \frac{0,0108}{0,018} \cdot \frac{40000000}{10330} = 2323 \text{ atmosphères},$$

et que, si le métal est altéré par le tir ou de qualité inférieure, elle est

$$p = \frac{0,0108}{0,018} \cdot \frac{25000000}{10330} = 1452 \text{ atmosphères};$$

aussi, dans ce dernier cas, la pression moyenne maximum

des gaz de la poudre ne serait que $\frac{227,7}{1452} = \frac{1}{6,4}$ de la pression de rupture, tandis que celle des gaz du pyroxyle en serait les $\frac{493,4}{1451} = \frac{1}{2,95}$. Si l'on se reporte aux résultats comparatifs, rapportés précédemment, sur les forces vives communiquées par les différentes matières explosives, et d'après lesquels on a vu que la charge de pyroxyle était à la charge équivalente de poudre de chasse fine comme 72,83 est à 159,25, on voit que la charge de pyroxyle qui équivaudrait à celle de 27gr,8 de poudre de chasse que l'on emploie dans les épreuves des canons de fusil, serait de 12gr,40. Or il arrive quelquefois que des canons crèvent avec la charge de 27gr,5 de poudre de chasse; et, puisqu'à même effet balistique le pyroxyle développe dès les premiers instants des pressions beaucoup plus considérables que la poudre, il semblait déjà résulter de ces premières expériences que, selon toute probabilité, les canons de fusil ne résisteraient pas à des charges de 12 grammes de pyroxyle et même à des charges moindres.

Sans attribuer à ces calculs approximatifs plus de précision qu'ils n'en comportent, on pouvait néanmoins en conclure une confirmation des craintes qu'avait inspirées, dès l'origine, la rapidité d'inflammation du pyroxyle.

L'examen de la courbe des forces vives imprimées par la charge de 2gr,86 de pyroxyle montre qu'entre les longueurs des canons de 22 à 64 calibres, qui comprennent les armes en service depuis le mousqueton de cavalerie jusqu'au fusil d'infanterie, la vitesse imprimée à la balle varie assez peu, ce qui prouve que la même charge pourrait convenir à toutes ces armes sous le rapport de la vitesse communiquée; mais, comme elles ont des poids d'autant moindres qu'elles sont plus courtes, le recul des armes courtes et légères deviendrait intolérable si on les tirait aux mêmes charges que les armes longues.

Une autre série d'expériences a été exécutée avec les mêmes charges et des canons de diverses longueurs, pour déterminer les vitesses des balles à des distances de $0^m,25$, $0^m,50$, 1, 2, 4 et 8 mètres de la bouche. Mais, pour les calibres courts, aux distances de 4 et de 8 mètres, le tir était trop incertain; et, aux très-petites distances, l'influence variable de l'action des gaz et celle des parties non comburées de la charge ont introduit dans les résultats tant d'irrégularités, que l'on n'a pu tirer de ces essais aucune conclusion assurée.

Tout ce que l'on a pu en déduire, c'est que, pour la régularité des résultats du tir au fusil-pendule, il convenait de conserver la distance de 2 mètres entre la tranche de la bouche du canon et la tranche du récepteur; et c'est ce qu'on a toujours fait dans la suite.

Relation entre les charges et les vitesses qu'elles impriment aux balles de fusil dans des canons de diverses longueurs.

Les expériences dont il a été question plus haut sur l'influence que la longueur du canon exerce sur la vitesse imprimée aux balles, n'ayant été exécutées qu'avec une seule charge pour chacune des matières explosives essayées, on a pensé qu'il serait utile de les étendre, au moins pour plusieurs longueurs, à des charges variées; à cet effet, on a choisi les canons des longueurs de 4, 11, 29 et 64 calibres, et l'on y a tiré successivement des charges de pyroxyle croissant de demi-gramme en demi-gramme depuis 50 centigrammes, et des charges de poudre croissant de gramme en gramme à partir de 1 gramme.

Les charges employées ont été limitées à celles pour lesquelles les vitesses cessaient de croître régulièrement.

Les matières explosives comparées étaient la poudre à canon du Ripault et le pyroxyle de coton cardé de Montreuil préparé dans des volumes égaux d'acides neufs, du pyroxyle de coton filé et des poudres de chasse fine et extrafine du Bouchet.

Le tir a été exécuté, comme le précédent, en plaçant la

balle entre deux rondelles de carton; la poudre était mise à la manière ordinaire des épreuves de poudre de chasse, et le pyroxyle comprimé à raison de 15 à 16 millimètres de longueur par gramme de charge.

Les tableaux suivants contiennent les résultats des expériences faites par la Sous-Commission de Paris, ainsi que les forces vives communiquées aux balles. Expériences de la Sous-Commission de Paris.

CANONS DE 4 CALIBRES.

CHARGES.	PYROXYLE CARDÉ.		PYROXYLE FILÉ EN CARTOUCHES.		POUDRE A CANON.		POUDRE DE CHASSE EXTRAFINE.		POUDRE DE CHASSE FINE.	
	Vitesses.	Forces vives.	Vitesses.	Forces vives.	Vitesses.	Forces vives.	Vitesses.	Forces vives.	Vitesses.	Forces vives.
gr	m		gr		m		m		m	
0,50	57,37	9,70	"	"	"	"	"	"	"	"
1,00	152,11	83,35	86,89	22,29	40,41	4,81	49,62	7,25	44,43	5,82
1,50	179,21	94,61	"	"	"	"	"	"	"	"
2,00	166,13	81,31	159,18	74,65	63,50	11,88	109,98	35,64	94,02	26,05
2,50	166,70	81,88	"	"	"	"	"	"	"	"
3,00	147,71	64,27	185,65	101,54	64,72	12,26	155,66	71,39	135,37	53,99
4,00	"	"	195,18	112,24	81,07	19,36	181,14	96,67	143,57	60,73
5,00	"	"	181,12	96,66	90,49	24,13	202,34	120,63	175,53	90,78
6,00	"	"	"	"	93,08	25,53	201,72	119,90	183,56	99,25
7,00	"	"	"	"	86,18	21,88	233,70	160,91	189,52	105,80
8,00	"	"	"	"	98,31	28,48	222,42	145,77	166,62	81,78
9,00	"	"	"	"	"	"	"	"	186,24	102,20
10,00	"	"	"	"	"	"	"	"	165,80	80,99

CANONS DE 12 CALIBRES.

CHARGES.	PYROXYLE CARDÉ.		PYROXYLE FILÉ EN CARTOUCHES.		POUDRE A CANON.	
	Vitesses.	Forc. vives	Vitesses.	Forc. vives	Vitesses.	Forc. vives
gr	m		m		m	
0,50	68,88	14,03	41,27	5,02	"	"
1,00	178,42	94,11	50,79	7,60	53,00	8,30
1,50	230,13	156,58	193,45	110,26	"	"
2,00	266,42	209,84	208,90	128,58	83,54	20,63
2,50	289,77	248,26	"	"	"	"
3,00	305,18	275,35	283,84	237,37	116,01	39,79
3,50	321,18	304,99	"	"	"	"
4,00	326,64	315,45	319,53	300,81	143,48	60,95
4,50	342,34	346,50	"	"	"	"
5,00	364,14	392,03	354,39	361,61	181,18	97,05
5,50	353,37	369,18	"	"	"	"
6,00	351,53	365,38	375,47	415,35	184,14	100,25
6,50	344,09	350,02	"	"	"	"
7,00	329,38	320,78	"	"	218,80	141,86
8,00	"	"	"	"	232,73	160,13
9,00	"	"	"	"	235,22	163,59
10,00	"	"	"	"	245,62	178,37
11,00	"	"	"	"	253,79	190,42
12,00	"	"	"	"	256,50	194,97
13,00	"	"	"	"	269,61	214,91
14,00	"	"	"	"	273,74	221,53
15,00	"	"	"	"	291,95	252,00
16,00	"	"	"	"	283,95	238,38
17,00	"	"	"	"	292,04	252,15
18,00	"	"	"	"	309,74	283,65
19,00	"	"	"	"	305,81	276,50
20,00	"	"	"	"	298,12	262,76
21,00	"	"	"	"	296,34	259,64

CANONS DE 29 CALIBRES.

CHARGES.	PYROXYLE CARDÉ.		POUDRE A CANON.	
	Vitesses.	Forces vives.	Vitesses.	Forces vives.
gr	m		m	
0,50	68,58	13,91	"	"
1,00	201,91	120,53	80,63	19,22
1,50	266,75	210,37	"	"
2,00	314,04	291,54	136,89	55,40
2,50	346,49	354,94	"	"
3,00	375,44	416,75	174,09	89,59
3,50	396,44	464,64	"	"
4,00	428,54	542,82	226,65	151,86
4,50	448,77	595,41	"	"
5,00	473,72	663,47	255,05	192,32
5,50	487,51	702,65	"	"
6,00	488,13	704,47	292,11	200,38
6,50	522,83	808,18	"	"
7,00	512,54	776,66	321,45	305,49
7,50	519,43	794,93	"	"
8,00	524,83	811,60	347,12	356,24
9,00	532,18	834,43	344,69	351,26
10,00	535,46	844,78	383,98	435,91
11,00	"	"	406,60	488,79
12,00	"	"	411,10	498,51
13,00	"	"	431,81	551,26
14,00	"	"	445,11	585,76
15,00	"	"	466,31	642,90
16,00	"	"	484,99	695,44
17,00	"	"	504,93	753,75
18,00	"	"	498,58	735,00
19,00	"	"	516,27	788,02
20,00	"	"	499,44	737,50
21,00	"	"	512,24	775,75
22,00	"	"	549,40	892,40
23,00	"	"	550,65	896,48
24,00	"	"	557,61	919,26
25,00	"	"	539,15	859,40
26,00	"	"	556,14	914,40
27,00	"	"	560,05	927,34
28,00	"	"	541,73	867,64
29,00	"	"	540,02	862,18

CANONS DE 64 CALIBRES.

CHARGES.	PYROXYLE CARDÉ.		PYROXYLE FILÉ EN CARTOUCHES.		POUDRE A CANON.	
	Vitesses.	Forces vives.	Vitesses.	Forces vives.	Vitesses.	Forces vives.
gr	m		m		m	
0,50	60,11	10,65	"	"	"	"
1,00	201,92	120,13	116,22	39,80	85,82	21,77
1,50	270,09	214,92	"	"	"	"
2,00	302,54	269,67	200,08	117,95	150,66	67,10
2,50	361,96	386,01	"	"	"	"
3,00	402,26	476,74	394,16	457,75	218,51	141,16
3,50	444,61	582,42	"	"	"	"
4,00	472,02	656,45	473,76	661,60	263,75	205,67
4,50	492,80	715,51	"	"	"	"
5,00	497,00	747,78	502,30	743,37	305,36	275,67
5,50	510,81	768,78	"	"	"	"
6,00	546,03	878,44	563,11	934,26	342,36	347,35
6,50	539,77	858,18	"	"	"	"
7,00	564,32	938,30	561,56	929,14	360,40	384,01
8,00	"	"	547,11	881,94	389,08	447,56
9,00	"	"	569,33	955,02	423,44	530,10
10,00	"	"	"	"	443,85	582,18
11,00	"	"	"	"	478,51	676,97
12,00	"	"	"	"	499,50	749,65
13,00	"	"	"	"	529,30	828,28
14,00	"	"	"	"	561,27	928,02
15,00	"	"	"	"	573,77	969,97
16,00	"	"	"	"	590,20	1026,31
17,00	"	"	"	"	615,92	1117,68
18,00	"	"	"	"	626,51	1156,49
19,00	"	"	"	"	647,25	1234,28
20,00	"	"	"	"	647,36	1234,73
21,00	"	"	"	"	640,60	1209,08
22,00	"	"	"	"	679,60	1360,75
23,00	"	"	"	"	685,86	1385,96
24,00	"	"	"	"	699,91	1443,37
25,00	"	"	"	"	698,25	1436,47
26,00	"	"	"	"	727,52	1559,27
27,00	"	"	"	"	736,12	1596,55
28,00	"	"	"	"	720,34	1528,75

L'examen de ces tableaux et la représentation graphique des résultats conduisent à reconnaître que la loi de la proportionnalité des carrés des vitesses ou des forces vives aux charges se vérifie encore pour des canons de longueurs différentes; mais, les gaz n'ayant pas dans les armes courtes le temps de se produire et de se détendre comme dans les armes longues, le rapport des forces vives aux charges va sans cesse en diminuant avec la longueur des canons. C'est ce qui est rendu évident par les formules suivantes, déduites de la représentation graphique des résultats et exprimant la relation entre les forces vives imprimées aux balles de fusil dans des canons de diverses longueurs et les charges employées. Pl. II et III, fig. 5, 6, 7 et 8.

LONGUEUR des canons en calibres.	PYROXYLE cardé.	PYROXYLE filé.	POUDRE à canon.	POUDRE de chasse fine.	POUDRE de chasse extrafine.
64	$MV^2 = 142\,C$	$MV^2 = 147,6\,C$	$MV^2 = 59,6\,C$	$MV^2 = 72,83\,C$	$MV^2 = 82,14\,C$
29	$MV^2 = 128\,C$	"	$MV^2 = 42,0\,C$	"	"
11	$MV^2 = 80\,C$	$MV^2 = 71,4\,C$	$MV^2 = 15,7\,C$	"	"
4	"	$MV^2 = 28,8\,C$	$MV^2 = 4,0\,C$	$MV^2 = 13,33\,C$	$MV^2 = 22,00\,C$

On voit que, pour toutes les substances explosives essayées, la décroissance du rapport des forces vives ou de l'effet balistique aux charges, à mesure que la longueur du canon diminue, est très-sensible et d'autant plus marquée que la matière est plus lente à s'enflammer et à faire explosion, ce qui explique la différence considérable de portée des armes courtes avec les poudres de guerre.

Mais en même temps, on a pu, dans les canons de 64 calibres, prolonger sans inconvénients le tir jusqu'à des charges de 28 grammes de poudre à canon; la loi des vitesses et des charges s'est encore vérifiée jusqu'aux charges

de 22 à 23 grammes qui communiquent à la balle des vitesses de 679 à 685 mètres en une seconde, de sorte que dans une même arme on peut, avec la poudre, obtenir un effet balistique plus considérable qu'avec le pyroxyle, attendu que la quantité de cette dernière substance que l'on peut employer est beaucoup plus limitée que les charges de poudre.

Expériences de la Sous-Commission de Vincennes.

Les mêmes expériences sur la relation des vitesses et des charges dans des canons de différentes longueurs, ont été répétées par la Sous-Commission de Vincennes, et elles ont conduit aux résultats suivants :

CANONS DE 64 CALIBRES.

DATES des expériences.	PYROXYLE.			POUDRE A CANON.		
	Poids des charges.	Vitesses moyennes.	Forces vives.	Poids des charges.	Vitesses moyennes.	Forces vives.
	gr	m		gr	m	
6 avril 1847..	0,50	42,588	5,326	1,00	77,586	17,654
id	1,00	195,876	112,660	2,00	146,744	63,226
id	1,50	265,163	206,459	3,00	203,064	121,072
id	2,00	305,386	273,847	4,00	243,348	173,573
id	2,50	342,422	344,296	5,00	279,539	229,548
id	3,00	368,957	399,724	6,00	325,235	310,578
id	3,50	419,310	516,249	7,00	349,773	358,511
id	4,00	435,999	558,187	8,00	371,000	404,033
id	4,50	481,558	680,936	9,00	400,388	470,594
id	5,00	502,572	741,662	10,00	435,006	555,606
id	5,50	495,483	720,886	11,00	440,026	568,503
id	6,00	524,148	806,709	12,00	472,969	656,813
id	6,50	527,127	815,874	13,00	493,004	713,637
id	7,00	642,642	1212,684	14,00	499,312	732,016
12 *id*	"	"	"	15,00	506,429	753,032
id	"	"	"	16,00	532,087	831,269
id	"	"	"	17,00	539,686	854,861
id	"	"	"	18,00	539,562	854,790
id	"	"	"	19,00	565,352	938,457
id	"	"	"	20,00	551,916	894,381
id	"	"	"	21,00	616,954	1117,600
id	"	"	"	22,00	661,085	1283,200
id	"	"	"	23,00	671,157	1322,590
id	"	"	"	24,00	655,303	1260,843
id	"	"	"	25,00	626,105	1151,000
id	"	"	"	26,00	670,692	1320,757
id	"	"	"	27,00	672,855	1329,290
13 *id*	"	"	"	28,00	681,201	1362,470
id	"	"	"	29,00	659,563	1277,290
id	"	"	"	30,00	716,087	1515,595
id	"	"	"	31,00	678,807	1352,911

CANONS DE 29 CALIBRES.

DATES des expériences.	PYROXYLE.			POUDRE A CANON.		
	Poids des charges.	Vitesses moyennes.	Forces vives.	Poids des charges.	Vitesses moyennes.	Forces vives.
	gr	m		gr	m	
15 avril 1847.	0,50	52,143	7,783	1,00	77,762	17,755
id	1,00	200,286	117,791	2,00	122,359	43,959
id	1,50	250,178	183,784	3,00	164,539	79,490
id	2,00	300,198	264,620	4,00	206,641	125,375
id	2,50	336,105	331,710	5,00	267,221	209,661
id	3,00	364,328	389,736	6,00	287,497	242,685
id	3,50	407,223	486,936	7,00	310,073	282,296
id	4,00	417,714	512,351	8,00	340,239	339,895
id	4,50	450,093	594,858	9,00	345,033	349,541
id	5,00	469,913	648,402	10,00	367,853	397,306
20 id	5,50	473,421	658,119	11,00	381,481	431,782
id	6,00	458,850	618,231	12,00	391,983	451,140
id	6,50	477,508	667,991	13,00	406,659	485,554
id	7,00	417,715	615,176	14,00	441,264	571,708
22 id	"	"	"	15,00	456,836	612,770
id	"	"	"	16,00	469,703	647,774
id	"	"	"	17,00	479,563	675,255
id	"	"	"	18,00	498,170	728,682
id	"	"	"	19,00	507,074	754,952
id	"	"	"	20,00	498,882	730,756
id	"	"	"	21,00	488,246	699,930
id	"	"	"	22,00	494,560	718,149
id	"	"	"	23,00	508,633	759,602
id	"	"	"	24,00	505,299	749,676
id	"	"	"	25,00	496,414	720,602
id	"	"	"	26,00	515,708	780,880
id	"	"	"	27,00	520,146	794,378
23 id	"	"	"	28,00	517,664	786,815
id	"	"	"	29,00	503,025	742,944

CANONS DE 11 CALIBRES.

DATES des expériences.	PYROXYLE. Poids des charges.	PYROXYLE. Vitesses moyennes.	PYROXYLE. Forces vives.	POUDRE A CANON. Poids des charges.	POUDRE A CANON. Vitesses moyennes.	POUDRE A CANON. Forces vives.
	gr	m		gr	m	
16 avril 1847..	0,50	93,179	25,494	1,00	57,568	9,731
id	1,00	178,103	93,143	2,00	107,930	34,205
id	1,50	223,715	146,960	3,00	129,631	49,343
id	2,00	262,961	203,045	4,00	142,712	59,804
id	2,50	287,569	242,881	5,00	156,477	71,897
id	3,00	312,986	287,646	6,00	191,281	107,437
id	3,50	316,567	294,266	7,00	194,291	110,844
id	4,00	332,351	324,342	8,00	207,935	126,959
id	4,50	331,392	322,473	9,00	221,749	144,388
17 *id*	5,00	329,257	318,331	10,00	225,853	149,781
id	5,50	334,263	328,084	11,00	237,765	165,999
id	6,00	332,169	323,986	12,00	272,652	218,286
19 *id*	6,50	353,838	367,636	13,00	269,068	212,569
id	7,00	316,688	294,627	14,00	277,297	225,787
id	7,50	304,514	272,285	15,00	279,018	228,598
id	8,00	274,168	220,720	16,00	280,950	231,775
26 *id*	8,50	286,656	241,285	17,00	296,171	257,569
id	"	"	"	18,00	273,709	221,592
id	"	"	"	19,00	280,900	231,693
id	"	"	"	20,00	282,241	233,910
id	"	"	"	21,00	295,068	255,654

CANONS DE 4 CALIBRES.

23 avril 1847..	0,50	36,622	3,938	1,00	38,405	4,331
id	1,00	134,098	52,802	2,00	59,190	10,287
id	1,50	158,598	73,859	3,00	75,575	16,771
id	2,00	157,629	72,959	4,00	69,595	14,222
id	2,50	163,034	78,047	5,00	71,616	15,060
id	3,00	131,934	51,112	6,00	85,828	21,630
26 *id*	3,50	"	"	7,00	89,120	23,321
id	4,00	"	"	8,00	89,826	23,692
id	4,50	"	"	9,00	79,694	18,649
id	5,00	"	"	10,00	80,877	19,207

Pl. IV, fig. 9, 10, 11 et 12.

La représentation graphique des résultats de ces expériences conduit à des conséquences analogues à celles que l'on déduit des épreuves exécutées à Paris, et donne les relations suivantes entre les forces vives et les charges :

LONGUEUR des canons en calibres	PYROXYLE CARDÉ de Montreuil.	POUDRE A CANON du Ripault.	OBSERVATIONS
64	$MV^2 = 135,40\,C$	$MV^2 = 50,00\,C$	La relation des vitesses et des charges cesse d'être régulière à partir de la charge de 5 grammes de pyroxyle.
29	$MV^2 = 124,80\,C$	$MV^2 = 40,25\,C$	
11	$MV^2 = 88,00\,C$	$MV^2 = 15,39\,C$	
4	"	$MV^2 = 3,00\,C$	La relation des vitesses et des charges n'offre aucune régularité avec le pyroxyle. Aucune observation a partir de 3 grammes de pyroxyle.

Rupture des canons de fusil.

C'est dans ces expériences que se sont pour la première fois réalisées les craintes que l'on avait conçues pour la résistance des canons de fusil à des charges élevées de pyroxyle.

Le tir des canons de 4 calibres n'a présenté rien de particulier, parce que les charges y étaient nécessairement limitées par la longueur même de l'âme.

Les canons de 11 calibres avaient servi dans des expériences précédentes. A Paris, ils ont été tirés sans accident jusqu'aux charges de 6 et de 7 grammes en pyroxyle cardé et en pyroxyle filé, et n'ont offert d'autres particularités que la fatigue des affûts sur lesquels ils étaient placés. A Vincennes, un canon de 11 calibres de longueur a crevé au quatrième coup, à la charge de $8^{gr},50$ de pyroxyle.

Les canons de 29 calibres étaient neufs. A Paris, un de ces canons qui, dans le tir aux plus faibles charges, n'avait signalé aucune altération, a éclaté au premier coup tiré à la charge de $7^{gr},50$ de pyroxyle. Le second canon a commencé, à la charge de 8 grammes de pyroxyle, à montrer des

gerçures et s'est gonflé. La balle paraissait avoir été fondue. A la charge de 10 grammes, le canon s'était gonflé de manière que sa capacité était augmentée de 3 centimètres cubes.

A Vincennes, un canon de 29 calibres de longueur a crevé au premier coup tiré à la charge de $7^{gr},50$ de pyroxyle.

Les canons de 64 calibres étaient neufs. A Paris, un canon qui était employé avec la poudre, s'est gonflé en fuseau sans éclater, à la charge de 27 grammes et a été tiré à celle de 28 sans accidents, tandis qu'au troisième coup, la charge de 7 grammes de pyroxyle cardé a brisé un canon. Au premier coup, à la charge de 10 grammes de pyroxyle filé, la queue de la vis de culasse a été tordue; au deuxième coup, l'affût a été complétement brisé, et, au troisième coup, le canon a éclaté.

A Vincennes, le canon de 64 calibres de longueur a crevé au quatrième coup tiré avec la charge de 7 grammes de pyroxyle, qui avait produit successivement les vitesses de $725^m,34$, $561^m,34$ et $641^m,24$, ce qui donne une vitesse moyenne de $642^m,64$. Aucun des canons tirés avec la poudre n'a été mis hors de service, quoique celui de 64 calibres ait été tiré jusqu'à la charge de 32 grammes, à laquelle on a été obligé de s'arrêter parce qu'à chaque coup l'arbre du pendule sortait de ses coussinets. La vitesse moyenne maximum a été de $716^m,09$ et a été obtenue avec la charge de 30 grammes de poudre.

Irrégularité du tir.

Dans le cours des expériences pour déterminer les charges équivalentes de poudre et de pyroxyle, il a été fait quelques observations relativement à l'influence que l'hygrométricité de ces substances et d'autres circonstances encore peuvent exercer sur les effets balistiques et sur la régularité du tir.

Expériences de la Sous-Commission de Paris.

Dans le compte qu'elle a rendu des résultats de cette série d'expériences, la Sous-Commission de Paris fournit les indications suivantes :

Dans les canons de 64 calibres de longueur, cent vingt

coups tirés avec la poudre à canon du Ripault ont donné, pour la vitesse moyenne imprimée à la balle de 28gr,9 par une charge de 8 grammes, la valeur de 391m,72. Parmi les vitesses moyennes déduites journellement du tir de dix coups, la plus faible a été de 386m,32, et la plus forte de 396m,78, ce qui donne 10m,46 pour l'étendue de la variation journalière de la force de la poudre. Sur la totalité de cent vingt coups, le plus faible a donné une vitesse de 354m,09, et le plus fort une vitesse de 415m,10; différence, 61m,01.

Cent vingt coups tirés avec du pyroxyle fabriqué dans des volumes égaux d'acides azotique et sulfurique (*), ont donné 403m,10 pour la vitesse moyenne générale imprimée à la balle par une charge de 3 grammes.

Les vitesses moyennes journalières ont varié entre 390m,80 et 415m,32; différence, 24m,52. Ainsi, l'étendue de la variation a été plus que double de celle de la poudre.

Le coup le plus faible a fourni une vitesse de 340m,08, et le plus fort une vitesse de 451m,36, ce qui donne un écart maximum de 111m,28, c'est-à-dire, environ le double de celui qu'on a observé avec la poudre.

La comparaison des résultats de chaque jour obtenus avec la poudre et avec le pyroxyle, dans des canons de longueurs différentes, a fourni des conséquences analogues.

Les résultats immédiats des expériences, tels qu'ils sont insérés dans le registre de la Sous-Commission de Paris, sont rapportées dans le tableau suivant :

(*) Le pyroxyle employé dans ces expériences, tant à Paris qu'à Vincennes, provenait de l'atelier de chargement des capsules de guerre à Montreuil. Il présentait des inégalités sous le rapport de l'homogénéité et n'avait pas la régularité qu'ont offerte les produits fabriqués au Bouchet par des ouvriers plus exercés à la préparation des matières explosives.

LONGUEUR des canons en calibres	MATIÈRES explosives employées.	VITESSES OBSERVÉES. Maximum.	Minimum.	DIFFÉRENCE ou écart maximum.	RAPPORT des écarts maximum produits par le pyroxyle et par la poudre.
		m	m	m	
64 calibres..	Pyroxyle...	411,65	353,65	58,00	2,77
	Poudre.....	391,77	364,85	26,92	
49 *id*.....	Pyroxyle...	419,52	373,82	45,70	1,73
	Poudre.....	386,78	360,23	26,55	
38 *id*.....	Pyroxyle...	400,34	322,98	77,36	3,01
	Poudre.....	356,66	332,95	25,71	
29 *id*.....	Pyroxyle...	392,78	346,91	45,81	1,44
	Poudre.....	333,62	301,83	31,81	
22 *id*.....	Pyroxyle...	390,80	348,99	41,81	0,92
	Poudre.....	317,00	271,31	45,69	
16 *id*.....	Pyroxyle...	357,16	310,71	46,45	1,10
	Poudre.....	285,10	242,38	42,27	
11 *id*.....	Pyroxyle...	324,98	250,98	74,02	3,08
	Poudre.....	237,25	212,76	24,49	
7 *id*.....	Pyroxyle...	281,69	229,28	52,41	2,07
	Poudre.....	174,42	149,10	25,32	
5 *id*.....	Pyroxyle...	219,75	142,40	77,35	2,21
	Poudre.....	141,98	105,02	38,16	
4 *id*.....	Pyroxyle...	165,94	87,15	78,79	2,58
	Poudre.....	102,29	71,77	30,52	
				Moyenne..	2,09

Ainsi, sur l'ensemble de toutes ces expériences, les écarts particuliers dans chaque série et les écarts sur les vitesses moyennes, sont, pour le pyroxyle, à peu près doubles de ceux que produit la poudre, et doivent, par conséquent, donner lieu à des irrégularités de tir beaucoup plus considérables pour la première matière que pour la seconde.

Expériences de la Sous-Commission de Vincennes.

Les résultats des expériences de la Sous-Commission de Vincennes ont présenté des irrégularités encore plus grandes que celles qui avaient été observées à Paris.

Avec la poudre, parmi les vitesses moyennes constatées

journellement par le tir de dix coups dans les fusils de 64 calibres, la plus grande vitesse observée a été de 390^{m},73, et la plus faible de 377^{m},47; différence, 13^{m},26.

Avec le pyroxyle, la plus grande vitesse a été de 426^{m},72, la plus petite de 378^{m},98; différence, 47^{m},74.

Le rapport du second écart au premier est

$$\frac{47,74}{13,26} = 3,60.$$

Sur la totalité des coups tirés avec la poudre, il y a eu une vitesse de 403^{m},88 et une de 366^{m},75; différence, 37^{m},13; et sur la totalité des coups tirés avec le pyroxyle, il y a eu une vitesse de 487^{m},45 et une de 352^{m},64; différence, 134^{m},80. Le rapport de l'écart maximum des vitesses obtenues avec le pyroxyle à l'écart maximum des vitesses obtenues avec la poudre est donc

$$\frac{134,80}{37,13} = 3,63.$$

Tir prolongé dans les fusils d'infanterie avec le pyroxyle et la poudre.

Après avoir déterminé pour les canons ordinaires des fusils d'infanterie, les charges de pyroxyle et de poudre qui impriment à la balle de calibre la même vitesse initiale et produisent le même effet balistique, il était important de reconnaître, par des expériences directes, si un tir prolongé avec ces charges ne produisait pas dans les armes, des altérations plus grandes avec l'une des matières qu'avec l'autre.

Il était plus que probable, d'après les études faites sur les effets produits par ces charges dans des canons de longueurs décroissantes, que le pyroxyle, dont les gaz ont, dans les premiers instants du déplacement du projectile, une tension moyenne plus que double de celle des gaz de la poudre, devait fatiguer les armes, altérer l'élasticité et diminuer la résistance du métal, beaucoup plus que la

poudre. Pour vérifier ce fait, on a exécuté un tir continu avec deux canons de fusil d'infanterie à la charge de 2gr,86 de pyroxyle.

Le procès-verbal et le Rapport spécial de ces expériences ne se sont pas retrouvés dans les dossiers de la *Commission du pyroxyle,* et ce que l'on peut en rapporter ici n'est reproduit que d'après les souvenirs personnels de plusieurs Membres de cette Commission. Mais, s'il y a dans les valeurs absolues des chiffres quelque incertitude, il n'y en a pas sur les faits généraux ni sur leurs conséquences.

Après un tir de quatre cents coups environ, à la charge de 2gr,86 de pyroxyle, l'un des fusils a éclaté; et l'autre a fait explosion vers le cinq centième coup.

Cette expérience, qui justifie les prévisions énoncées ci-dessus, montre que le pyroxyle de coton cardé, dans l'état actuel de sa préparation, ne pourrait être employé sans danger avec continuité dans les armes portatives, même à de faibles charges équivalentes, quant à l'effet, à la charge en usage de poudre de guerre.

On sait d'ailleurs qu'à cette charge un canon de fusil d'infanterie peut tirer de vingt-cinq à trente mille coups sans être hors de service par rupture ou par explosion.

Conclusions à tirer des expériences exécutées avec les fusils.

L'ensemble de toutes ces expériences exécutées avec les fusils d'infanterie conduit aux conclusions suivantes :

1°. Pour le pyroxyle cardé comme pour les diverses poudres, les vitesses croissent comme les racines carrées des charges, jusqu'à une certaine limite particulière à chaque matière explosive, limite d'autant plus basse que la combustion est plus rapide.

2°. Aux environs de cette limite, les balles tirées avec le pyroxyle et avec les poudres de chasse très-énergiques, sont déformées, et le tir devient très-irrégulier tant sous le rapport de la justesse que sous le rapport des vitesses imprimées ou des portées.

3°. L'effet maximum que, dans un fusil d'infanterie, l'on peut obtenir en augmentant les charges, est plus grand avec la poudre à canon qu'avec le pyroxyle et qu'avec les autres poudres très-énergiques.

4°. Aux charges équivalentes ou de même effet balistique, en pyroxyle ou en poudre, le tir avec le pyroxyle offre beaucoup plus d'irrégularité dans les vitesses, que celui de la poudre, et le rapport des plus grands écarts, dans les vitesses produites par le pyroxyle, aux plus grands écarts observés dans celles qu'imprime la poudre à canon, est compris entre 2 et 3; par conséquent, les écarts des forces vives et, par suite, des portées dans le vide, seraient avec le pyroxyle, de quatre à neuf fois plus grandes qu'avec la poudre.

5°. Les fusils d'infanterie neufs éclatent, dès les premiers coups tirés, à des charges de 7 à 8 grammes de pyroxyle comprises entre le double et le triple de celle qui produit le même effet que la charge de 8 grammes de poudre, tandis que le même canon pourrait supporter des charges de poudre de guerre triples et même quadruples de la charge de service.

6°. Les fusils d'infanterie ne peuvent résister au tir prolongé du pyroxyle à base de coton cardé, à la charge de $2^{gr},86$, équivalente, quant à l'effet balistique, à celle de 8 grammes de poudre de guerre.

Frappée des accidents nombreux auxquels la rapidité de la combustion du pyroxyle donnait lieu, la *Commission du pyroxyle* s'occupa de rechercher si, par quelque préparation spéciale ou par quelque arrangement de la matière, on ne pourrait pas diminuer cette rapidité sans altérer sensiblement les effets produits. Les résultats de ces essais vont être succinctement analysés.

Pyroxyle en coton filé.

On a préparé par l'immersion dans un mélange par parties égales, du coton filé, et l'on a formé deux échantillons

semblables à des cordes. L'un était composé de brins parallèles entourés sans interruption avec du même fil; on avait préparé l'autre échantillon en tordant ensemble plusieurs brins de coton pour en faire des torons que l'on disposait parallèlement entre eux, de manière à former une espèce de cylindre qu'on liait, de distance en distance, aussi avec du même fil. On faisait les charges en coupant des bouts d'une longueur convenable, dans ces cordes dont le diamètre était à peu près égal au calibre du fusil.

On a tiré ces deux échantillons en faisant croître graduellement les charges. Le premier, à brins parallèles non tordus entre eux, a crevé un canon de fusil à la charge de 6 grammes. Le second, à brins tordus, a fait éclater un autre canon à la charge de 4 grammes.

Le tir a présenté plusieurs ratés; une portion de la charge a souvent été projetée soit en brûlant, soit sans brûler. On a de plus remarqué que, même en pointant avec le plus grand soin, on manquait fréquemment le récepteur placé à la distance de 2 mètres.

Des expériences analogues ont été faites à la Direction des poudres en tirant, à différentes charges, du pyroxyle filé et ficelé, arrangé en cartouches dans des canons de 4, de 11 et de 64 calibres de longueur. Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

CHARGES.	VITESSES COMMUNIQUÉES AUX BALLES DE 28gr,9 DANS DES CANONS DES LONGUEURS DE — 4 CALIBRES.		11 CALIBRES.		64 CALIBRES *.	
	Vitesses moyennes.	Écarts des vitesses.	Vitesses moyennes.	Écarts des vitesses.	Vitesses moyennes.	Écarts des vitesses.
gr	m	De m à m	m	De m à m	m	De m à m
1	52,74	26,55 à 90,99	50,79	27,75 à 60,23	116,22	53,43 à 147,96
2	159,18	132,23 à 198,52	208,99	180,50 à 241,39	200,08	162,84 à 234,22
3	185,65	136,07 à 204,42	283,84	266,94 à 291,63	394,16	350,27 à 399,10
4	195,18	145,05 à 200,76	319,53	287,05 à 338,56	473,76	355,30 à 484,53
5	181,12	164,80 à 197,51	354,39	340,26 à 371,40	502,30	393,38 à 452,39
6	"	"	375,47	362,72 à 395,34	563,11	489,75 à 573,90
7	"	"	"	"	519,55	472,55 à 561,00
8	"	"	"	"	495,18	444,34 à 547,12
9	"	"	"	"	497,19	410,44 à 569,33
10	"	"	"	"	457,78**	"

* Dans les canons de 64 calibres, les balles sont déformées aux charges de 4 à 5 grammes et au-dessus.

** Le canon a crevé au premier coup.

L'ensemble de ces expériences montre que l'emploi du pyroxyle filé formé en cartouches donne, dans les canons de 64 calibres, des vitesses moindres aux faibles charges, que celles qu'on obtient avec le pyroxyle cardé; que, dans ces mêmes canons, les vitesses sont égales pour les deux espèces de pyroxyle, aux charges de 4 grammes et au-dessus; et que, dans les canons de 11 et de 4 calibres, les vitesses sont toujours moindres avec le pyroxyle filé qu'avec le pyroxyle cardé.

Les irrégularités du tir sont encore plus grandes avec le pyroxyle filé qu'avec celui qui est cardé, et les dangers de

rupture des canons ne sont pas diminués. Il ne paraît donc présenter d'autre avantage que la facilité du chargement.

Pyroxyle cardé mêlé de salpêtre.

L'emploi du pyroxyle dans les mines ayant fait voir que, dans la combustion de cette matière, il se produit des gaz explosibles, on en avait déduit qu'en mêlant une certaine proportion de salpêtre au pyroxyle, on opérerait la combinaison de ces gaz avec l'oxygène et que l'on augmenterait l'effet de l'explosion. Ces considérations engagèrent la *Commission du pyroxyle* à essayer un semblable mélange dans les fusils, afin de reconnaître si, pour un même effet balistique obtenu, il serait possible de diminuer la quantité de pyroxyle, et, par suite, les dangers que présente l'emploi de cette matière seule.

En conséquence, des expériences furent faites au fusil-pendule par la Sous-Commission de Vincennes, avec un canon du calibre de 18 millimètres (modèle 1842) et des balles pesant 28gr,8.

Les résultats en sont consignés dans le tableau suivant, et, pour faciliter la comparaison, on y a joint les vitesses obtenues dans les tirs précédents avec les mêmes charges de pyroxyle non mélangé.

CHARGES.		POIDS TOTAL de la charge	VITESSES moyennes observées.	VITESSES communiquées par la charge de pyroxyle seule.
Pyroxyle	Salpêtre			
gr 1,00	gr 0,80	gr 1,80	m 108,61	m 201,92
2,00	1,60	2,60	271,21	302,54
3,00	2,40	5,40	333,47	402,26
4,00	3,20	7,20	454,85	472,02
5,00	4,00	9,00	516,93	497,00
6,00	4,80	10,80	584,26	546,03
7,00	5,60	12,60	609,71	564,32

On voit d'abord qu'aux charges moindres que 5 grammes

de pyroxyle, le mélange de cette substance avec le salpêtre a donné des vitesses inférieures à celles de la même charge en pyroxyle seul, et d'antant plus que les charges étaient plus faibles.

Aux charges supérieures à 5 grammes, en pyroxyle mélangé, l'effet produit a été un peu plus grand avec le mélange qu'avec le pyroxyle seul. Mais on sait qu'à ces charges les effets du pyroxyle cessent de croître régulièrement; son infériorité doit donc être attribuée à cette cause plutôt qu'à l'effet explosif additionnel qui serait produit par le salpêtre.

L'un des canons de fusil employés a éclaté à la charge de 12gr,60 de mélange contenant 7 grammes de pyroxyle, ainsi que cela était arrivé déjà plusieurs fois dans le tir avec le pyroxyle seul.

L'autre canon a pu tirer avec 16 grammes de mélange sans éprouver d'accident; mais l'affût a été très-endommagé.

On a remarqué dans ce tir que les canons s'échauffaient beaucoup plus avec le mélange qu'avec le pyroxyle seul.

Pyroxyle filé, disposé en bobine avec un vide intérieur.

Des charges formées avec du pyroxyle filé, roulé en bobine avec un vide intérieur, préparé à la Direction des poudres, ont été tirées au fusil-pendule.

On a préparé aussi du pyroxyle de coton à l'état granuleux en le faisant triturer sous des cylindres de papeterie, et en lui donnant à la cuve un collage de 6 pour 100 d'un mélange de dextrine et de salpêtre. Le produit de cette préparation était une matière pulvérulente, blanche, régulière, assez dure, qui brûlait en fusant un peu.

Les résultats de ces deux sortes d'essais sont consignés dans le tableau suivant :

POIDS des charges.	VITESSES MOYENNES FOURNIES PAR			
	Le pyroxyle cardé ordinaire.	Le pyroxyle filé roulé en bobines creuses.	Le pyroxyle granulé.	Le pyroxyle fabriqué avec de vieux acides ravivés.
gr	m	m	m	m
1	201,92	154,21	0,00	116,65
2	302,54	277,37	241,49	321,74
3	402,26	368,57	325,73	416,7[illegible]
4	472,02	428,94	395,18	452,49
5	497,00	456,54	459,56	478,68
6	546,03	494,12	479,47	485,52
7	564,32	*	465,96	484,135***
8	"	"	485,52	"
9	"	"	484,14 **	"

* Le canon a éclaté au quatrième coup à cette charge.
** Le canon a éclaté au premier coup à cette charge.
*** Le canon s'est crevassé au cinquième coup.

Ainsi les nouvelles matières essayées étaient très-inférieures au pyroxyle cardé, quant aux vitesses communiquées, sans que les dangers d'explosion aient été diminués, puisque le canon de fusil a éclaté au quatrième coup tiré à la charge de 7 grammes avec le pyroxyle filé en bobine, et au premier coup, à la charge de 9 grammes avec le pyroxyle granulé; et toutefois, cette dernière charge n'a pas fourni la même vitesse que celle de 5 grammes en pyroxyle cardé.

Des essais analogues exécutés sur du pyroxyle fabriqué au Bouchet avec des acides qui avaient déjà servi et que l'on avait ravivés par une addition d'acide sulfurique, ont montré que les vitesses imprimées par cette matière étaient à peu près les mêmes que celles qu'on avait obtenues avec le pyroxyle cardé fait avec des acides neufs. Quant au danger

Pyroxyle fabriqué avec des acides ayant déjà servi, ravivés par l'acide sulfurique.

d'explosion, il est aussi le même, car le canon, à la charge de 7 grammes, s'est fissuré au cinquième coup et a éclaté au sixième.

Essais sur des préparations diverses.

Cet exposé des effets du tir comparatif des diverses matières explosives proposées pour remplacer la poudre, se terminera par l'analyse des résultats qui ont été obtenus avec le papier et quelques autres substances.

Papier azotique.

On a rappelé, au commencement de ce Rapport, que M. Pelouze avait, dès l'année 1838, indiqué une préparation qui rendait le papier d'une extrême combustibilité, ce qui avait porté ce savant chimiste à penser que le papier azotique pourrait être d'un emploi avantageux pour l'artillerie, principalement pour la confection des gargousses. Mais ce papier, précisément à cause de sa grande inflammabilité, eût été pour cet objet d'un emploi très-dangereux et tout à fait inadmissible pour le service des batteries.

Pyroxyle à base de papier.

Lorsque les effets remarquables obtenus dans les armes avec le pyroxyle de coton eurent excité si vivement l'attention, on pensa que le papier, préparé comme cette dernière substance, pourrait être avec avantage substitué à la poudre. Mais les expériences dont on va rendre compte firent reconnaître que les effets du pyroxyle à base de papier sont loin d'être aussi énergiques et aussi réguliers que ceux de la poudre.

MATIÈRES EMPLOYÉES.	CHARGES.	VITESSES COMMUNIQUÉES A LA BALLE DE 25gr,80 PAR	
		Le pyroxyle de papier.	La poudre.
1°. *Tir au fusil-pendule :*			
	gr	m	m
Papier préparé au laboratoire de M. Pelouze.............	1,00	0,00[1]	94,27
	2,00	0,00[2]	169,90
	2,00	0,00[3]	169,90
Autre papier proven. du même laboratoire...............	1,00	17,39[4]	94,27
	1,00	53,09	94,27
	1,00	35,26[5]	94,27
2°. *Tir dans un mousqueton à balle forcée du système de M. Lepage, se chargeant par la culasse.*			
Papier joseph préparé au Dépôt central.................	0,50	188,42	"
	0,50	171,70	"
	0,50	178,47	"
Papier à filtrer préparé au Dépôt central................	0,50	"[6]	"

1 La balle n'est pas sortie du canon.
2 Id.
3 Long-feu. La balle n'a fait qu'une légère impression sur la planchette du pendule
4 Long-feu. Faible impression sur la planchette.
5 Il y a eu trois ratés.
6 La balle n'est pas sortie du canon.

On voit que, dans les armes lisses, le papier ne produit que des effets très-irréguliers et fort inférieurs à ceux de la poudre. Il laisse, de plus, un résidu considérable, noir et très-humide, qui encrasse l'arme.

Le papier le plus fin paraît préférable aux autres papiers; et les expériences faites avec le mousqueton à balle forcée

de M. Lepage montrent que le forcement de la balle, en donnant à la matière tout le temps nécessaire à sa combustion et en supprimant le vent, augmente considérablement les effets; c'est ce qui explique l'apparente contradiction entre les effets obtenus par la plupart des expérimentateurs et ceux qui ont été observés dans le tir avec les armes lisses.

Au surplus, des résultats analogues avaient été signalés dans le Rapport de la Commission de salubrité, qui avait eu à examiner ces nouveaux produits au point de vue de la sûreté publique.

Sciure de bois azotique.

On a aussi préparé, au laboratoire du Dépôt central, de la sciure de bois de tilleul en l'immergeant dans un mélange d'acide sulfurique et d'acide azotique concentré. Le résultat a été une matière fusante d'un effet nul à la charge de $0^{gr},50$ dans le mousqueton à balle forcée de M. Lepage.

Coton de M. Morel.

On a soumis à l'épreuve du fusil-pendule du pyroxyle de coton présenté par M. Morel, ingénieur-mécanicien. Ce *fulmicoton* était préparé par l'immersion dans un mélange d'acides azotique et sulfurique à volumes égaux. On a tiré huit échantillons qui ont donné des vitesses peu différentes entre elles et comprises, pour la charge de 2 grammes, entre $303^{m},05$ et $339^{m},73$, et qui, par conséquent, sont à peu près les mêmes que les vitesses fournies par le pyroxyle de Montreuil et par celui du Bouchet.

Cartouches de M. Chodzko.

M. Chodzko, Polonais, a présenté une matière explosive qui paraît avoir pour base le coton. Elle était d'un aspect jaunâtre, et était mélangée d'une poudre blanche qui s'en séparait facilement. Elle brûle en fusant et répand une odeur désagréable. Les cartouches préparées par M. Chodzko étaient garnies de bourres de carton très-épaisses, et, en chargeant, il bourrait plus fortement qu'on ne pourrait le faire dans le tir.

Les expériences exécutées sur ces cartouches par la Sous-

Commission de Vincennes et par la Direction des poudres ont donné des résultats analogues.

Les vitesses ont été très-comparables à celles que fournissent la poudre et le pyroxyle, mais elles ont présenté les plus grandes irrégularités. C'est ainsi que les vitesses dues à la charge de 4 grammes ont varié de 44 à 469 mètres. Pour des charges plus faibles, la balle restait souvent dans le canon, et, à toutes les charges, on a eu des ratés fréquents.

Une portion considérable de la charge était presque toujours projetée hors du canon et brûlait en répandant une fumée noire d'une odeur alliacée insupportable. Le canon s'échauffait fortement, et se salissait au point qu'il fallait le laver après chaque coup.

Dans la vue de diminuer la rapidité de combustion du pyroxyle de coton, on a préparé du calicot de deux sortes, l'un blanc et vieux, l'autre écru et neuf. Tiré à la charge de 4 grammes seulement, le calicot écru ne s'est enflammé que lentement, et, à l'instant où l'on croyait que le coup avait raté, le fusil a éclaté en huit morceaux. Ainsi, le résultat a été précisément contraire à ce que l'on attendait. Pyroxyle à base de calicot

EXPÉRIENCES COMPARATIVES SUR LES EFFETS DU PYROXYLE ET DE LA POUDRE DANS LES BOUCHES A FEU ET DANS LES PROJECTILES CREUX.

Les premiers essais sur le tir des canons avec le pyroxyle ont été exécutés par la Commission de la Direction des poudres et salpêtres, les 23 et 24 novembre 1846, dans un canon-pendule de 12 en fonte de fer, et ont eu principalement pour objet de reconnaître le rapport des charges de cette substance et des charges de poudre de guerre capables de produire les mêmes effets balistiques. Canon-pendule de 12 en fonte de fer.

La quantité de pyroxyle dont on pouvait alors disposer étant encore assez limitée, on fut obligé de mélanger en-

semble du pyroxyle préparé avec des acides neufs et d'autre pyroxyle obtenu avec des acides ayant déjà servi, et d'adopter provisoirement, pour la densité des charges, la proportion reconnue convenable pour les fusils. En conséquence, on essaya successivement les charges suivantes :

Poids de la charge en grammes..		100	200	300	400	500	600	700	800	2000
Hauteur de la charge en centimètres....	pyroxyle...	5	10	15	20	25	30	35	40	"
	poudre....	"	2	3	4	5	6	7	8	20

Le tir ne fut pas poussé plus loin que la charge de 800 grammes avec le pyroxyle et que celle de 2 000 grammes avec la poudre, et l'on ne tira qu'un coup, à chaque charge, de la première substance.

Les résultats du tir sont consignés dans le tableau suivant :

MATIÈRES EXPLOSIVES employées.	VITESSES COMMUNIQUÉES PAR DES CHARGES EN GRAMMES DE								
	100	200	300	400	500	600	700	800	2000
Pyroxyle.	m 157,70	m 251,66	m 315,75	m 369,25	m 411,50	m 446,45	m 483,35	m 495,65	m "
Poudre à canon...	"	158,10	195,30	234,50	267,20	306,60	321,70	347,70	497,35

Il résulte de là qu'au degré de compression employé dans ces expériences et par l'effet duquel 800 grammes de pyroxyle occupaient une longueur d'âme de 40 centimètres, double de celle de 20 centimètres que prenaient 2 000 grammes de poudre, les effets balistiques de ces deux charges étaient égaux, ou que les charges de pyroxyle et de poudre, capables d'imprimer au boulet de 12 une vitesse d'environ 500 mètres, étaient entre elles dans le rapport de 1 à 2,50.

En augmentant la densité du pyroxyle par un refoulement prolongé, on parvint à réduire la longueur occupée

par une charge de 700 grammes à 224 millimètres, et l'on obtint alors une vitesse de 499^m,06, ce qui établirait, entre les charges de même effet balistique en pyroxyle et en poudre, le rapport de 1 à 2,86, comme on l'a trouvé pour les fusils.

Dans ce petit nombre de coups tirés à charges croissantes limitées à celle de même effet que la charge de poudre du tiers du poids du boulet, on n'a observé aucune dégradation produite sur le canon en fonte du pendule, et les gaz développés n'ont pas paru avoir d'odeur désagréable.

Canon de 12 en bronze

La *Commission du pyroxyle* a repris ces expériences en janvier 1848, au pendule balistique de Vincennes, en tirant, dans le récepteur, avec un canon en bronze de 12 de campagne monté sur affût. Cette bouche à feu, vérifiée avant le tir, était partout au calibre exact, sauf à la tranche de la bouche qui présentait 0^{mm},2 au-dessus du calibre.

Les premiers essais ont eu pour objet de déterminer la densité la plus convenable à donner au pyroxyle, aux points de vue de la grandeur des effets balistiques et de la conservation de la bouche à feu.

Le pyroxyle employé provenait de la fabrication du Bouchet et avait été préparé avec des acides neufs. Il était renfermé dans des sachets en serge dans lesquels on le comprimait à l'aide d'un appareil à vis. On a essayé les densités de $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$ et $\frac{1}{2}$ de celle de la poudre à canon, depuis la charge de 200 grammes jusqu'à celle de 700 grammes, en tirant cinq coups à chaque charge et à chaque densité, en commençant par la densité la plus faible.

Les boulets étaient ensabotés, mais séparés de la charge. On obtint les vitesses consignées dans le tableau suivant :

POIDS des charges en grammes.	VITESSES OBTENUES AUX DENSITÉS DE		
	1/4	1/3	1/2
	m	m	m
200	266,47	282,88	282,46
300	339,91	340,96	347,01
400	387,05	405,91	415,29
500	424,58	436,90	434,26
600	455,85	461,28	460,50
700	456,93	"	"

Ces résultats montrent que la densité de $\frac{1}{3}$ de celle de la poudre paraît favorable à l'accroissement des vitesses. Il n'y avait rien à gagner, sous ce rapport, à dépasser cette limite, tandis qu'il pouvait résulter d'une densité plus forte une plus rapide destruction des bouches à feu.

Dégradation des bouches à feu.

Quant aux dégradations produites dans l'âme, voici la marche qu'elles ont suivie :

Avec des charges de 200 et de 300 grammes, à toutes les densités essayées, la pièce est restée intacte.

Les cinq coups tirés à la charge de 400 grammes avec la densité de $\frac{1}{4}$ ont laissé la pièce en bon état; mais la même charge, à la densité de $\frac{1}{3}$, a produit les premières dégradations, et, après les cinq coups à cette charge, il y avait un refoulement de $0^{mm},2$ à $0^{mm},3$ à l'emplacement de la charge, sur une longueur de 20 à 25 centimètres. A partir de ce moment, les augmentations de diamètre ont toujours été en croissant, et, après les cinq coups, à la densité de $\frac{1}{2}$, avec la charge de 400 grammes seulement, le refoulement, sans augmenter de longueur, avait atteint une profondeur de $1^{mm},2$ dans le sens vertical et de $1^{mm},1$ dans le sens horizontal.

Au premier coup, avec la charge de 500 grammes, le grain

de lumière fut soulevé, et, aux coups suivants, il continua de se dévisser jusqu'à ce qu'il eût fait environ un quart de tour. Arrivé à ce point, il ballottait dans son logement. La grandeur du refoulement, à l'emplacement de la charge, augmentait avec continuité, et, après les quinze coups à 500 grammes, aux trois densités, elle atteignit $5^{mm},2$. Le canon était donc déjà hors de service. L'emplacement de la charge offrait une surface rugueuse parsemée de petits creux. Une gerçure commença à se manifester à l'arête supérieure près du grain de lumière.

Dans les cinq coups suivants tirés à la charge de 600 grammes, le nombre des gerçures augmenta. Plusieurs étaient disposées en rayons partant du contour du grain de lumière et s'étendaient sur toute la longueur du premier renfort, les unes longitudinalement, les autres transversalement.

Après le tir à cette charge de 600 grammes, le refoulement était de $7^{mm},5$.

Depuis la tranche de la bouche jusqu'au premier renfort on ne voyait pas de battements; mais, du fond de l'âme au premier renfort, la surface très-rugueuse offrait des égrènements et des affouillements assez considérables pour arrêter les pointes de l'étoile mobile.

On tira encore cinq coups au pendule avec la charge de 700 grammes; les gerçures se multiplièrent et augmentèrent sur la partie gauche de la pièce. Les vitesses obtenues dans ce tir étant tout à fait irrégulières et la pièce étant déjà hors de service, on la conduisit près de la butte du polygone, pour reconnaître jusqu'à quel point elle pouvait encore résister; on tira dix coups de suite à la même charge de 700 grammes. A l'extérieur, la pièce se renfla graduellement en fuseau, et, au dixième coup, elle s'ouvrit à l'emplacement d'une tache d'étain que l'on avait observée dès l'origine. L'ouverture avait en dehors 4 cen-

timètres de longueur sur 3 à 4 millimètres de largeur. Enfin, on tira un onzième coup, et l'on vit la flamme s'échapper par cette ouverture.

Cette bouche à feu n'avait tiré que soixante et un coups, à des charges égales ou supérieures à 400 grammes.

La pièce ayant été sciée, on reconnut qu'à l'emplacement de la charge, l'âme était complétement percée de petits trous analogues aux égrènements que produisent les poudres dites *brisantes*.

La Sous-Commission de Vincennes, par un tir au pendule avec la poudre à canon, reconnut aussi que le rapport des charges de même effet balistique en pyroxyle et en poudre était de 1 à 3 environ.

On chercha ensuite s'il ne serait pas possible de diminuer les dégradations produites par le pyroxyle sans altérer les vitesses, et l'on se servit de pyroxyle filé formé en cylindre, ayant un vide intérieur de 20 millimètres et ayant 100 millimètres de hauteur pour 200 grammes. Ces expériences ont fait voir que la diminution de la densité diminuait notablement la vitesse et fort peu les dégradations; car, après deux coups tirés à 400 grammes et un à 600 grammes, la pièce présentait déjà à l'emplacement de la charge, un refoulement de $0^{mm},8$ dans le sens vertical et de $0^{mm},6$ dans le sens horizontal.

Des résultats analogues furent observés en tirant avec du pyroxyle à l'état floconneux, renfermé dans des sachets de serge de 75 millimètres de diamètre seulement; après un coup à la charge de 500 grammes, et sept à la charge de 600 grammes, le refoulement était de $2^{mm},8$ verticalement et de $2^{mm},6$ horizontalement.

Ces résultats ont suffisamment démontré que le pyroxyle à base de coton cardé ne pouvait être tiré dans les bouches à feu en bronze sans qu'elles fussent promptement détruites.

La comparaison des effets balistiques du pyroxyle et des diverses poudres dans les mortiers a été faite, à la poudrerie du Bouchet, par la Commission de la Direction des poudres, en tirant au mortier-éprouvette les différentes matières explosives à des charges croissantes. Tir dans les mortiers.

Le pyroxyle a été employé aux charges de 10, 20, 30, 40 et 46 grammes, dont la dernière a fourni à peu près la même portée que la charge d'épreuve ordinaire de 92 grammes de poudre de guerre. Le pyroxyle a toujours été chargé de manière à remplir la chambre, c'est-à-dire qu'il était d'autant plus comprimé que la charge était plus forte.

Pour les poudres, le vide de la chambre aux petites charges était rempli avec du papier.

On a d'abord employé un mortier-éprouvette en fonte de fer, qui avait tiré cent cinquante-huit coups seulement, et paraissait en bon état; mais, après avoir tiré aux différentes charges indiquées plus haut, il éclata au premier coup à la charge de 46 grammes de pyroxyle, équivalente à celle de 92 grammes de poudre, et l'un des fragments blessa grièvement un poudrier. Mortier-éprouvette en fonte de fer.

La rupture eut lieu par un plan passant par la lumière; et, si l'on calcule l'effort minimum qui a été nécessaire pour rompre le cylindre de la chambre, en faisant abstraction du surcroît de résistance que lui donne le raccordement de l'âme d'un côté, et la culasse de l'autre, on trouve qu'en regardant la fonte comme étant de première qualité, et appelant $e = 0^{m},0742$ l'épaisseur du métal autour de la chambre, $d = 0^{m},0496$ le diamètre intérieur, $R = 13500000$ l'effort de traction capable de produire la rupture de 1 mètre carré de section, P la pression minimum nécessaire pour produire la rupture, on aura

$$P = \frac{2e}{d} R = 40\,392\,000^{kil} = 3910 \text{ atmosphères},$$

ce qui donne la limite inférieure de la pression dévelop-

pée dans ce cas par les gaz du pyroxyle au moment de la rupture.

L'expérience a d'ailleurs appris que ces mortiers en fonte, provenant de la fonderie de Ruelle, dans les épreuves préliminaires faites avant leur adoption, avaient tiré jusqu'à deux mille huit cent deux coups, à la charge de 92 grammes de poudre, sans être hors de service.

Le mortier employé présentait, il est vrai, vers le raccordement du fond de la chambre, une légère solution de continuité; mais c'est un effet qui se produit presque toujours dans de semblables bouches à feu, tant par le retrait inégal du métal que par le travail de l'allésage.

Mortier-éprouvette en bronze.

L'épreuve a été reprise avec un mortier-éprouvette en bronze, que l'on a tiré à la charge de 46 grammes de pyroxyle, sans qu'on y ait remarqué aucune augmentation des dégradations anciennes.

Tableau et discussion des resultats du tir des mortiers.

Le tableau suivant donne les résultats des essais du tir exécuté dans les mortiers-éprouvettes en fonte et en bronze :

MATIÈRES explosives employées.	PORTÉES OBTENUES AVEC DES CHARGES EN GRAMMES DE					
	10	20	30	40.	46	92
	m	m	m	m	m	m
Pyroxyle..........	29,25	81,75	146,60	218,50	253,00	"
Poudre extrafine ...	"	20,10	49,75	79,60	95,30	246,50
Poudre à mousquet.	"	23,65	48,00	74,75	97,30	240,00
Poudre à canon....	"	17,25	39,25	64,50	84,55	236,50
Poudre de mine....	"	"	"	"	45.90	210,00

Si l'on représente ces résultats par une construction graphique, en prenant les charges en grammes pour abscisses, et les portées en mètres pour ordonnées, les points ainsi déterminés pour le pyroxyle sont à très-peu près sur une même ligne droite.

Pour les poudres à canon, à mousquet et de chasse extra-fine, les points obtenus sont aussi sur une même ligne droite.

Si l'on compare les charges de pyroxyle et de poudre qui donnent les mêmes portées comprises entre 100 et 250 mètres, on trouve que leur rapport varie entre 2,09 et 2,11; et, en désignant les charges en grammes par les lettres C pour le pyroxyle et C′ pour la poudre, on a à très-peu près la relation

$$C' = 2,1\,C.$$

Ce qui donne, pour le rapport des charges de pyroxyle et de poudre, capables de produire la même portée du globe d'épreuve, une valeur inférieure à celle que l'on a obtenue pour les vitesses initiales dans le tir des fusils.

En résumé, les résultats de ces expériences, qui n'ont guère été poussées plus loin, ont montré que l'emploi du pyroxyle n'était pas moins dangereux dans les armes courtes que dans les armes longues, ce qui avait d'ailleurs été mis en évidence par le tir des canons de fusil de diverses longueurs, et est une conséquence de l'excessive rapidité de combustion de cette substance.

Pour reconnaître le rapport qui existe entre la force expansive des gaz provenant de l'explosion du pyroxyle ou de celle de la poudre, dans la rupture des projectiles creux, on a fait, à Vincennnes, des essais comparatifs sur l'éclatement de vingt obus de 16 centimètres, et de vingt obus de 15 centimètres, en employant le pyroxyle et la poudre à canon qui avaient servi aux expériences précédentes sur le tir au fusil-pendule. *Éclatement des projectiles creux.*

Ces obus, coulés dans les forges de la Moselle, étaient en fonte douce, de deuxième fusion et d'une très-bonne qua-

lité. Ils avaient été fabriqués pour les expériences de la Commission des obus à balles, et l'œil était disposé pour recevoir une fusée vissée.

Les parois des obus de 16 centimètres avaient une épaisseur moyenne de 25 millimètres, et celles des obus de 15 centimètres, une épaisseur de 19 millimètres. Ces épaisseurs, qui sont celles des obus ordinaires de 16 et de 15 centimètres, étaient renforcées, autour de l'œil, par un renflement qui les portait à 27 millimètres en cet endroit. Le diamètre de l'œil était d'ailleurs de 27 millimètres, et était taraudé au pas nº 3 de l'artillerie.

Les fusées employées étaient des fusées métalliques, filetées sur une hauteur de 27 millimètres, vissées dans l'œil des projectiles, et ne débordant pas les parois à l'intérieur. Elles étaient composées d'un alliage de 6 parties de plomb, 3 d'étain et 1 d'antimoine. Le canal destiné à communiquer le feu à la charge intérieure du projectile avait 6 millimètres de diamètre, et il y avait trois canaux semblables à chaque fusée; mais un seul était débouché, de sorte que les gaz, après que le feu avait été communiqué à l'intérieur, n'avaient qu'une issue de 6 millimètres de diamètre.

Si l'on examine le tableau suivant, on voit que, dans ces expériences, la limite inférieure des charges nécessaires pour l'éclatement des obus de 16 centimètres, a été de 75 grammes avec le pyroxyle, et de 240 grammes avec la poudre à canon; que, pour les obus de 15 centimètres, cette limite inférieure a été de 55 grammes de pyroxyle, et de 180 grammes de poudre, de sorte que le rapport des charges d'explosion en pyroxyle et en poudre à canon serait, pour les obus de 16 centimètres, celui de 75 à 240, ou de 1 à 3,20; pour les obus de 15 centimètres, celui de 55 à 180, ou de 1 à 3,27, tandis que, pour les fusils, il était

de 1 à 2,86. Mais il ne faut pas oublier que, dans ces dernières armes, l'effet balistique est en grande partie produit par la détente des gaz, qui a plus de temps pour s'y produire que dans les obus ou dans les armes courtes, ce qui est à l'avantage des matières explosives les plus lentes.

Le nombre des éclats ne croît pas toujours avec la charge pour l'une des substances explosives comme pour l'autre.

Après la rupture des projectiles, on pouvait descendre immédiatement dans le puits d'explosion, lorsqu'ils avaient été chargés avec du pyroxyle; mais, quand on avait employé la poudre, il fallait attendre que l'air se fût un peu renouvelé. Les éclats produits par le pyroxyle n'offraient aucune trace de résidu, tandis que ceux des obus chargés de poudre étaient noircis et salis.

Résultats des expériences comparatives sur l'éclatement des obus de 16 et de 15 centimètres, chargés de pyroxyle ou de poudre.

CALIBRES des obus.	CHARGES de pyroxyle.	NOMBRE des éclats.	OBSERVATIONS	CALIBRES des obus.	CHARGES DE poudre.	NOMBRE des éclats.	OBSERVATIONS.
	gr				gr		
cent 16	60	19	»	cent 16	230	″	La fus. n'a p. sauté.
	60	″	La fusée a sauté.		235	″	La fusée a sauté.
	60	″	La fus. n'a p. sauté		235	″	id.
	65	16	»		240	16	»
	65	″	La fusée a sauté.		240	17	»
	70	″	id.		240	15	»
	75	17	»		240	18	»
	75	27	»		245	17	»
	75	24	»		250	17	»
	75	″	La fus. a sauté, mais le taraudage de l'œil était défect.		250	19	»
15	50	″	La fusée a sauté.	15	175	″	La fusée a sauté.
	50	″	id.		180	15	»
	55	″	id.		180	24	»
	55	22	id.		190	22	»
	55	20	»		195	20	»
	55	28	»		200	15	»
	55	29	»		205	14	»
	55	27	»		210	17	»
	60	29	»		215	22	»
	60	28	»		220	23	»

L'emploi du pyroxyle donnerait, comme on le voit, des résultats aussi réguliers que la poudre sous le rapport de l'éclatement même des projectiles creux, et n'offrirait que l'inconvénient de la difficulté du chargement.

Tir des obus à balles.

Mais les expériences sur le tir des obus à balles, chargés de pyroxyle et lancés avec la poudre, ont présenté de graves inconvénients.

Des obus à balles de 22 et de 12 centimètres ayant été tirés à poudre dans l'obusier en fonte de 22 centimètres de

la marine, et dans le canon de 12, on a obtenu les résultats suivants :

BOUCHES à feu.	PROJECTILES.	CHARGES DE l'obusier (poudre).	CHARGES DE L'OBUS. Pyroxyle.	Balles de plomb.	OBSERVATIONS.
		kil	gr		
Obusier de 22 cent. en fonte.	Obus de 22	3,000	150	300[1]	Le projectile a éclaté à 120 mètres des panneaux.
		3,500	150	280	Le projectile a éclaté dans l'âme.
		3,000	150	280	id.
		3,000	150	280	Le projectile n'a pas éclaté. La fusée a sauté. Quelques balles ont offert des traces de fusion.
		3,000	150	280	Le projectile a éclaté dans l'âme. Le taraudage de l'œil de cet obus était égrené.
Canon de campagne de 12.	Obus de 12	2,000	20	120[2]	Ces deux obus ont éclaté dans l'âme.
		2,000	20	120	
		2,000	20	120	A éclaté à 300 mètres de la pièce.
		2,000	20	120	A éclaté au-dessus de la butte après avoir ricoché.

1 Balles de 17 millimètres de diamètre.
2 Balles de pistolet de gendarmerie.

On voit que plus de la moitié des obus chargés de pyroxyle ont éclaté dans l'âme des bouches à feu, quoiqu'ils n'aient été tirés qu'avec de la poudre.

Expériences sur l'inflammation du pyroxyle par le choc.

On a fait quelques essais directs pour s'assurer que les explosions des projectiles creux dans l'âme des bouches à feu, provenaient effectivement du choc des balles contre la fonte.

Dix coups de fusil ont été tirés à différentes charges avec le fusil-pendule, en plaçant du pyroxyle sur un fragment d'obus, que l'on introduisait dans le récepteur, excepté pour les deux derniers coups, où le pyroxyle était placé sur le bloc de plomb du pendule. Voici les résultats que l'on a obtenus :

BALLES.	CHARGES.	VITESSES.	RÉSULTATS	OBSERVATIONS
	gr	m		
16,3 mm	4,00	265	Le pyroxyle est enflammé.	Au quatrième coup, la rondelle ayant été lancée dans le récepteur, on a augmenté la distance du tir et employé l'affût
	2,00	186	id.	
	2,00	186	id.	
	2,00	186	id.	
17,0	2,00	176	id.	
	1,00	100	id.	
	1,00	100	Le pyroxyle ne s'enflamme pas.	Pour les quatre derniers coups, l'épaisseur du pyroxyle avait été portée à 10 millimètres
	2,00	176	Le pyroxyle s'enflamme.	
	1,00	100	id.	
	1,00	100	id.	

Il ressort de ces résultats que le choc des balles de plomb sur la fonte et sur le plomb, à des vitesses de 100 mètres, suffit pour produire l'inflammation du pyroxyle, ce qui explique l'explosion des projectiles creux, chargés de cette substance, dans l'âme des bouches à feu. On en conclut, en outre, que des caissons pourraient faire aussi explosion par le simple choc d'une balle ordinaire de fusil.

RÉSUMÉ DES EXPÉRIENCES FAITES SUR L'EMPLOI DU PYROXYLE DANS LES ARMES ET DANS LES PROJECTILES.

On vient de rapporter presque toutes les expériences exécutées dans le cours des années 1846, 1847 et 1848, par les diverses Commissions qui ont été chargées d'étudier les effets du pyroxyle et des autres matières explosives du même genre dans les armes, comparativement à ceux de la poudre ordinaire. L'ensemble de ces recherches peut se résumer ainsi qu'il suit :

Armes portatives.

Dans les armes portatives :

Les charges de pyroxyle et de poudre de guerre, qui pro-

duisent dans les fusils d'infanterie la même vitesse, sont entre elles dans le rapport de 1 à 2,86.

Les vitesses imprimées par le pyroxyle aux balles de fusil d'infanterie suivent, jusqu'aux charges de 4 à 5 grammes, la loi de la racine carrée des charges; mais, aux charges supérieures, les balles sont déformées et le tir devient de plus en plus irrégulier.

La plupart des canons de fusil d'infanterie éclatent dès les premiers coups, à la charge de 7 grammes de pyroxyle, tandis qu'ils peuvent supporter des charges de 30 grammes de poudre de guerre.

Dans le tir prolongé des fusils d'infanterie, à la charge de $2^{gr},86$ de pyroxyle, les canons éclatent après 500 coups environ, tandis qu'avec la poudre, ces canons peuvent ne pas être hors de service après 25000 ou 30000 coups tirés à la charge de 8 grammes.

On peut, avec la poudre à canon, obtenir des vitesses plus grandes qu'avec le pyroxyle.

Le pyroxyle à base de coton filé n'est pas moins dangereux que celui de coton cardé.

Le pyroxyle à base de papier est d'un effet très-variable et très-souvent nul dans les armes lisses à balles libres.

Les tissus de coton pyroxylés et les autres produits que l'on a obtenus jusqu'ici par des préparations accessoires, tels que le pyroxyle grené, pulvérulent, en carton, etc., produisent des effets balistiques moindres que les précédents et ne sont pas moins dangereux.

Le pyroxyle employé dans les canons de bronze met la bouche à feu hors de service au bout de quelques coups, même à des charges moindres que celle qui équivaut à la charge de guerre en poudre ordinaire. Bouches à feu et projectiles creux.

Un mortier en fonte a été brisé par le tir avec le pyroxyle, à la charge donnant les portées d'épreuve.

Le tir des mortiers en bronze n'a pas été assez prolongé

pour que l'on pût observer la marche des dégradations produites dans ces armes.

Les projectiles creux chargés de pyroxyle et de balles de plomb éclatent dans l'âme des bouches à feu.

Conclusion. En présence de semblables résultats, on ne doit pas hésiter à déclarer que l'emploi de ces matières explosives, telles qu'elles ont été préparées jusqu'ici, est inadmissible pour les armes et pour les projectiles creux de tous genres en service dans les armées.

EXPÉRIENCES COMPARATIVES SUR L'EFFET PRODUIT PAR LE PYROXYLE ET PAR LA POUDRE DANS LES MINES.

MM. Combes et Flandin avaient présenté, le 16 novembre 1846, à l'Académie des Sciences, une Note sur des expériences qu'ils ont exécutées sur du calcaire grossier des environs de Paris, et desquelles il résultait que, dans ce cas, le pyroxyle avait, quant aux effets, une grande supériorité sur la poudre de mine ordinaire, sans qu'il fût cependant possible d'apprécier le rapport des charges de même effet.

Plus tard, M. Combes, ayant été appelé à faire partie de la *Commission du pyroxyle,* fut chargé, d'après les programmes arrêtés en présence de la Commission, de l'exécution d'autres expériences dans des carrières de plâtre et de calcaire grossier.

Essais faits dans les carrières de la Folie-Nanterre. Ces expériences ont fait l'objet de trois Rapports. Le premier est relatif aux essais exécutés dans les carrières de la Folie-Nanterre, exploitées à ciel ouvert. La masse de calcaire grossier y est stratifiée en bancs horizontaux de 30 centimètres à 1 mètre d'épaisseur, avec interposition de lits de marne ou de calcaire tendre de quelques centimètres d'épaisseur. La dureté et la densité de ce calcaire varient d'une couche à l'autre; le plus dur pèse 1700 à

1800 kilogrammes le mètre cube, et le plus tendre 1300 à 1400 kilogrammes.

Quelques essais préliminaires pour déterminer les charges de même effet n'ayant pas donné de résultats bien nets, on employa le pyroxyle dans la proportion de $\frac{1}{4}$ de la poudre. Les charges furent mises dans des gargousses de carton où elles furent réduites au même volume pour certaines expériences, et, pour d'autres, elles furent disposées de façon que le pyroxyle occupât un volume égal à 4,5 fois celui de la poudre. Le pyroxyle avait été éprouvé au fusil-pendule et avait donné, à la charge de 3 grammes, les vitesses de 430 et 414 mètres.

De l'ensemble de ces expériences, le rapporteur déduit seulement comme indications probables, que, dans le calcaire tendre, le pyroxyle n'équivaut pas à beaucoup plus de deux fois son poids de poudre de guerre ou de mine.

Essais faits dans les carrières de pierre à plâtre de Belleville

D'autres expériences ont été exécutées dans les carrières de pierre à plâtre dites de l'*Amérique*, sur le territoire de Belleville, où l'on exploite deux couches ou masses de pierre à plâtre que l'on distingue sous les noms de *haute* et *basse masse*. La première a 17 mètres d'épaisseur verticale, la seconde 8 mètres.

L'exploitation se fait habituellement avec la poudre.

De premiers essais semblèrent montrer que les charges de même effet en pyroxyle et en poudre de mine, étaient entre elles dans le rapport de 1 à 3. On remarqua que les gaz qui se dégageaient des fissures de la roche, après l'explosion, étaient inflammables et donnaient la flamme bleue de l'oxyde de carbone.

Le 2 juin 1847, des expériences plus nombreuses furent exécutées en présence de la Commission, sur vingt-cinq trous pratiqués à l'avance et dont les profondeurs variaient depuis 1 mètre jusqu'à $4^m,50$. Les uns furent chargés avec de la poudre à canon, les autres avec de la poudre de mine

ou du pyroxyle, en employant ces matières dans le rapport des nombres 4 à 5 pour la poudre à canon et celle de mine, et, pour le pyroxyle, dans des proportions variables de $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{5}$ du poids de la poudre de mine.

De l'ensemble des résultats, le rapporteur tire les conclusions suivantes :

1°. La poudre à canon produit des effets très-notablement supérieurs à ceux de la poudre de mine;

2°. La poudre de chasse équivaut sensiblement à la poudre de guerre;

3°. Le pyroxyle produit des effets équivalents à peu près à ceux d'un poids triple de poudre de guerre ou de chasse et quadruple de poudre de mine;

4°. Un mélange de cinq parties en poids de pyroxyle avec quatre parties de chlorate de potasse séché à l'étuve, constitue une poudre très-énergique dont la déflagration n'est suivie d'aucune fumée ou odeur, ni d'aucune production de gaz oxyde de carbone et qui, par ces motifs, paraît devoir être d'un emploi très-avantageux dans l'exploitation des mines.

Mais, le chlorate de potasse mélangé avec des substances combustibles donnant lieu à des explosions par le choc, cette espèce de poudre ne saurait être admise.

Nouveaux essais faits avec du pyroxyle mélangé de salpêtre.

On reprit ces expériences en mélangeant du salpêtre, soit avec du pyroxyle cardé, soit avec du pyroxyle divisé sous des cylindres de papeterie; le rapporteur en conclut qu'un mélange de 5 kilogrammes de pyroxyle et de 4 kilogrammes de salpêtre, équivalait à 9 kilogrammes de pyroxyle seul ou à 36 kilogrammes de poudre de mine.

On reconnut de plus que l'on pouvait augmenter notablement et avec avantage, l'effet de la poudre de mine en la mêlant avec le quart de son poids de salpêtre, pour compléter son dosage.

Ces essais, exécutés sur des roches en général très-

tendres, n'ont pu résoudre la question de l'emploi du pyroxyle dans les mines. Le petit nombre des résultats ne permet guère de considérer les conclusions qu'on en a tirées, que comme de simples déductions plus ou moins probables; et il eût été à désirer que des exploitations entreprises sur une plus vaste échelle, fussent appliquées à des roches de divers degrés de dureté, soit à ciel ouvert, soit en galeries.

La Commission mixte d'officiers d'artillerie et du génie, instituée le 12 juin 1847, pour étudier sur les fortifications de Bapaume, les principes de l'exécution des brèches par le canon et par la mine, a fait de nombreux essais comparatifs sur l'emploi du pyroxyle et de la poudre dans les mines militaires de différentes sortes. Expériences de Bapaume.

De l'ensemble des expériences, il est résulté que, pour un même effet produit dans ces mines, le rapport des charges de pyroxyle pur et de poudre de guerre était celui de 1 à 2, et que le rapport des charges de pyroxyle nitré et de poudre était celui de 1 à 1,67, le mélange de pyroxyle et de nitre étant fait dans la proportion de 1,00 de pyroxyle à 0,80 de salpêtre.

Les conclusions relatives à l'emploi plus ou moins favorable que l'on pourrait, dans les mines militaires, faire du pyroxyle pur ou nitré, sont du ressort du service du génie, et l'on a dû se borner ici à les énoncer succinctement (*).

On fera seulement remarquer que le kilogramme de mélange préparé dans la proportion en poids, de 5 de pyroxyle à 4 de salpêtre, revient à 4^{fr},37, d'après M. Maurey, commissaire des poudres et salpêtres. La charge de ce mélange étant à celle de pyroxyle pur dans le rapport de 0,60 à 0,50 ou de 1,20 à 1, équivalent à 2,00 de poudre de

(*) Le compte rendu des expériences de Bapaume vient d'être publié avec l'autorisation du Ministre de la Guerre.

guerre, le prix d'un même effet obtenu serait respectivement :

		fr	fr
Avec le pyroxyle pur.............	1,00 ×	7,00 =	7,00
Avec le pyroxyle nitré............	1,20 ×	4,37 =	5,24
Avec la poudre de guerre..........	2,00 ×	1,46 =	2,92

Par conséquent, abstraction faite de toute autre considération, il n'y aurait pas économie, pour les mines militaires, à employer le mélange de pyroxyle et de nitre.

FABRICATION DU PYROXYLE.

La préparation du pyroxyle a suivi la marche qui a été indiquée dans le résumé historique placé au commencement de ce Rapport ; il paraît inutile de parler des premiers essais et des progrès qui ont successivement conduit aux procédés adoptés en dernier lieu au Bouchet, pour la fabrication des 4662kil,42 confectionnés en 1847 et 1848, dans cette poudrerie. La régularité de ces produits n'a, pour ainsi dire, rien laissé à désirer.

Procédés de fabrication suivis au Bouchet. Coton.

La série des opérations pratiquées, leurs résultats, la discussion des proportions convenables, l'établissement du prix de revient, les dangers et les difficultés de la fabrication, ceux de la conservation, etc., sont décrits avec beaucoup de soin et de méthode dans un Mémoire rédigé par M. Maurey, commissaire des poudres au Bouchet. On ne croit pouvoir mieux faire que d'insérer ici textuellement la partie de ce travail qui est relative à la question.

« Le coton tiré de la manufacture de Chantemerle, à » Essonne, était livré à la poudrerie du Bouchet, tel qu'il » sort de la carde en gros, c'est-à-dire en ouates enroulées » sur des cylindres en bois ; on en faisait des pesées de » 100 grammes.

Melanges d'acides.

» On préparait presque toujours les mélanges d'acides, » la veille du jour où l'on devait les employer. En supposant, par exemple, que le dosage adopté fût de 400 » d'acide azotique pour 600 d'acide sulfurique, on mesurait d'abord 4 litres d'acide azotique qu'on versait » dans une touric de grès, puis 6 litres d'acide sulfurique qu'on y ajoutait. On agitait avec une baguette de » verre, et l'on continuait ainsi jusqu'à ce qu'on eût obtenu la quantité de mélange dont on avait besoin.

Trempage.

» Le lendemain on procédait à l'opération du *trempage,* » qui s'effectuait de la manière suivante : Dans un vase en » grès, d'environ 20 centimètres de diamètre et de 14 centimètres de profondeur, muni d'un disque en verre servant de couvercle, on versait d'abord 1 litre de mélange, » puis l'ouvrier trempeur y plongeait rapidement, en » quatre ou cinq fois, 100 grammes de coton pesés d'avance, » qu'il enfonçait au moyen d'un tampon en verre. La première partie était la plus difficile à imbiber; on distinguait les points non imprégnés à leur couleur plus blanche, et l'on y faisait pénétrer la liqueur en les ouvrant » avec deux baguettes de verre; on ajoutait ensuite, dans le » même vase, un second litre de mélange et une seconde » ouate de 100 grammes. Chaque vase renfermait ainsi » 200 grammes de coton et 2 litres d'acides; on le recouvrait » avec le disque en verre, à l'effet d'empêcher les émanations gênantes pour les opérateurs, et de soustraire les » mélanges à l'accès de l'air humide, qui les eût affaiblis » en leur cédant de l'eau.

» Quelquefois il se manifestait des décompositions dans » le premier quart d'heure de l'immersion. On en était » averti par la couleur rutilante qui se montrait dans le » vase au travers du couvercle, et on les arrêtait, comme » on verra plus loin.

» On laissait ainsi macérer le coton pendant au moins

» une heure. Ce n'est pas que le pyroxyle ne fût tout aussi » bon après quelques minutes seulement d'imbibition com- » plète. Mais, lorsqu'on est obligé d'employer des manœu- » vres à ces manipulations, il peut arriver que certaines » parties ne soient pas suffisamment imbibées dans les pre- » miers instants.

Pressage.

» Pour exprimer les acides non combinés, on soumettait » à la fois le contenu de vingt vases, c'est-à-dire 4 kilo- » grammes de coton trempé, à l'action de la *presse à acides*. » Cette presse se composait d'une vis en fonte, qui descen- » dait, au moyen d'un levier, dans une auge en grès, » laissant couler les acides par son fond. Les dimensions » intérieures de l'auge étaient : 30 centimètres pour la » longueur, 30 centimètres pour la largeur et 40 cen- » timètres pour la profondeur. Sa paroi antérieure était » remplacée par une planche recouverte de plomb, qui » pouvait s'enlever à volonté.

» Le coton était disposé par couches horizontales. On le » recouvrait d'un plateau en fonte, qui lui transmettait la » pression de la vis.

» Plus cette pression était forte, plus on retirait d'a- » cides : la presse du Bouchet ne permettait pas d'exprimer » plus de 70 pour 100 du mélange employé au trempage, » mais on pourrait obtenir davantage en employant une » presse plus puissante.

» On recueillait le mélange exprimé dans une tourie en » grès, surmontée d'un entonnoir et placée au-dessous de » la presse. Ces mélanges étaient désignés sous le nom d'*a- » cides n° 2*, pour les distinguer des *mélanges neufs*, dits » *n° 1*.

1er lavage à l'eau.

» Le déchargement du coton pressé s'opérait en enlevant » la paroi mobile de l'auge de grès; on le prenait avec une » fourche en fer, et on le mettait dans des paniers en osier » servant au lavage, ayant 90 centimètres de longueur sur

» 65 centimètres de largeur et 68 de profondeur. On l'ouvrait afin que l'eau pût y pénétrer plus facilement, et l'on enfonçait promptement le panier dans le courant de la rivière. Lorsque l'eau n'arrive pas, au commencement du lavage, en assez grande quantité, le coton peut s'échauffer au point de se désorganiser. Au moyen de bâtons en bois, on agitait le coton dans l'eau, sans cesse renouvelée par le courant, et on l'y laissait pendant une heure ou une heure et demie, en le remuant de temps à autre avec les bâtons.

» On le portait ensuite à la presse à eau, formée d'une vis en bois et d'un baril dont les douves, percées d'ouvertures, donnaient passage au liquide exprimé.

2e lavage dans une lessive alcaline.

» Afin de neutraliser complétement les dernières traces d'acide sulfurique, on employait à froid une lessive de cendres dans de grands cuviers en bois, où le coton restait plongé pendant vingt-quatre heures. On le remuait de temps à autre, et l'on vérifiait l'état alcalin de la liqueur au moyen d'un papier rouge de tournesol. Tant que ce papier était ramené au bleu, la lessive servait à de nouvelles quantités de coton. Dans le cas contraire, on y ajoutait un supplément d'eau de cendres, ou bien on la renouvelait.

3e et dernier lavage à l'eau.

» Au sortir du cuvier, le coton était remis dans les paniers en osier au milieu de la rivière, et y subissait un dernier lavage et une dernière immersion d'une heure.

» On le rapportait une seconde fois à la presse pour en exprimer la majeure partie de l'eau retenue entre les filaments.

Séchage.

» On le déposait enfin dans des paniers, où il était conservé humide quelquefois pendant plusieurs mois, jusqu'à ce que le temps permît de le sécher. L'accident arrivé dans la sécherie, chauffée par la vapeur, ayant prouvé qu'il pouvait y avoir explosion vers 44 degrés

» centigrades, on avait renoncé à l'emploi de toute chaleur
» artificielle. Le coton était étendu sur une toile claire, au
» travers de laquelle un ventilateur faisait passer de l'air
» froid; ce mode de séchage réussissait d'autant plus vite,
» que l'air était moins humide.

» Dans les premiers temps, on avait séché le pyroxyle
» au soleil en l'étendant sur des draps de calicot. Ce mode
» est l'un des plus expéditifs: en un jour, on séchait 4 kilo-
» grammes par drap de $2^m,80$ de longueur sur 2 mètres de
» largeur. On a cependant cessé d'opérer ainsi en grand,
» après avoir remarqué que l'insolation élevait la tempé-
» rature à un degré qu'on a cru dangereux. En effet, en
» plaçant un thermomètre entre deux couches de pyroxyle
» exposé au soleil, nous avons vu le mercure monter jusqu'à
» 69 degrés centigrades, tandis qu'un second thermomètre,
» à côté du pyroxyle, n'accusait que 34 degrés centigrades.

» L'observation qui précède est d'une grande impor-
» tance; car il est aujourd'hui admis, sans contestation,
» que le pyroxyle de coton, exposé à une température
» prolongée de 50 à 60 ou 70 degrés centigrades, se de-
» compose et fait explosion spontanément.

» Ajoutons toutefois que nous avons mis au soleil, pen-
» dant des mois entiers, des échantillons qui n'ont pas pris
» feu, et qui n'ont éprouvé d'autre modification que de
» devenir plus blancs.

» L'expérience a montré que le pyroxyle, lorsqu'il ne
» contient plus que 1 à 2 pour 100 d'eau, produit les
» mêmes effets balistiques que s'il était complétement sec.
» D'ailleurs, il reprend promptement cette petite propor-
» tion d'humidité aux dépens de l'atmosphère, et, par con-
» séquent, il est inutile de le sécher davantage.

» Après le séchage, le pyroxyle était trié et ouvert à la
» main, par des femmes qui en enlevaient avec soin les
» points attaqués par des décompositions.

» Enfin, on le renfermait dans des barils en usage pour

» la poudre, à raison de 10 kilogrammes de pyroxyle pour » un baril de la contenance de 50 kilogrammes de poudre, » et de 20 kilogrammes pour un baril de 100 kilogrammes » de poudre.

» Nous avons dit que les mélanges exprimés étaient classés sous le nom d'*acides n°* 2. On en a tiré parti pour » tremper une seconde fois du coton. Les pyroxyles qui en » provenaient étaient d'une qualité inférieure. Les mélanges retirés du coton trempé dans les *acides n°* 2, prenaient la dénomination d'*acides n°* 3. On a encore essayé » de les réemployer au trempage; mais l'espèce de pyroxyle » qu'ils produisaient brûlait avec une mauvaise odeur, ne » donnait dans le fusil qu'une force balistique très-faible, » et y laissait une crasse noire et humide. Les résultats ont » été jugés si mauvais, qu'on a renoncé aux *acides n°* 3 » dans la fabrication en grand. Acides nos 2 et 3.

» On a amélioré les pyroxyles provenant des *acides n°* 2, » en ajoutant dans ces acides une certaine quantité d'acide » sulfurique, pour absorber l'eau formée pendant le premier trempage. On est même parvenu à composer, avec » les *acides n°* 2, retirés des *acides n°* 1 *à volumes égaux*, » des mélanges n° 2, *dits ravivés*, qui ont donné des pyroxyles au moins égaux en qualité à ceux des *acides neufs*. » La proportion d'acide sulfurique était de 2 parties en » volumes pour 3 d'*acides n°* 2. Acides n° 2 ravivés.

» Il se produisait, au moment où l'on mêlait les acides, » une élévation de température d'environ 10 degrés centigrades. On les laissait refroidir avant d'y plonger le coton, et l'on opérait identiquement comme avec les *acides* » *neufs*.

» Les mélanges ayant déjà servi paraissent, à la longue, » se détériorer. Lorsque, après une interruption de six à » sept mois, on en a repris la révivification au moyen de » l'acide sulfurique, il a fallu abandonner ce moyen pour

» une partie assez considérable. On n'obtenait plus que de » mauvais résultats avec les *volumes inégaux n° 2* (1 d'a- » cide azotique et 2 d'acide sulfurique), qui, traités de la » même manière, avaient produit auparavant du pyroxyle » de première qualité. Quant aux *volumes égaux* (1 d'acide » azotique et 1 d'acide sulfurique), l'influence du même » intervalle de temps avait seulement diminué la propor- » tion d'acide azotique; ils donnaient encore, après révivi- » fication, des produits aussi énergiques.

» L'addition de l'acide sulfurique, en quelque propor- » tion que ce soit, ne peut pas rendre aux *acides n° 3* la » propriété de faire de bon pyroxyle. On a essayé aussi » inutilement de les révivifier par de l'acide azotique con- » centré. L'un des moyens employés pour en tirer parti » consiste à en extraire de nouveau l'acide azotique par » voie de distillation. En mettant à part l'acide qui se dé- » gage le premier, on l'obtient à 50 degrés. L'acide sul- » furique restant dans l'appareil n'a plus qu'une densité » de 1,724 à 1,794; par l'ébullition, on le ramène à celle » de 1,840. On reproduit ainsi les deux acides séparés, » dans les mêmes conditions qu'avant leur emploi, sauf la » couleur de l'acide azotique, qui est plus rouge que celle » de l'acide neuf. »

Une circonstance qu'il importe de noter, c'est que les vapeurs acides qui se dégagent pendant l'immersion du coton dans le mélange d'acides, attaquent fortement et dissolvent les dents des ouvriers, de telle sorte qu'en peu de temps ces organes diminuent très-sensiblement de volume.

Du rapport le plus avantageux entre l'acide azotique et l'acide sulfurique.

« La plus grande partie du pyroxyle fabriqué au Bou- » chet l'a été, d'après les prescriptions de la Commission, » dans des mélanges composés de 1 volume d'acide azo- » tique contre 1 ou 2 volumes d'acide sulfurique. Ces rap- » ports ont donné de bons résultats. Cependant le pre-

» mier, celui des volumes égaux, nous paraît trop riche en » acide azotique, et augmente, par conséquent, sans utilité selon nous, le prix de revient du pyroxyle.

» La Direction des poudres a payé cet acide 3 francs le » kilogramme, rendu au Bouchet, tandis que l'acide sulfurique ne lui a coûté que 23 centimes. On voit, d'après ces chiffres, qu'on réduit les frais de fabrication » en mettant une plus forte proportion d'acide sulfurique » dans le volume de mélange nécessaire pour immerger » 1 kilogramme de coton, surtout si, comme cela arrive » avec un bon dosage, on obtient une plus grande quantité de pyroxyle.

» Pour trouver les meilleurs dosages, nous en avons » étudié l'influence, non-seulement sur le rendement, mais » aussi sur la qualité des produits. On a noté exactement » le poids des pyroxyles obtenus dans les divers essais, et » l'on a ensuite tiré au fusil-pendule, dix coups de chaque » espèce, pour en apprécier l'énergie balistique, d'après » les vitesses imprimées à la balle.

» Le tableau suivant montre les résultats de l'immersion » du coton dans des mélanges où l'acide sulfurique a été employé dans des proportions variant depuis zéro jusqu'à $\frac{9}{10}$ » du volume.

Tableau des observations faites en préparant du pyroxyle dans des mélanges à divers dosages.

Quantités d'acides entrant dans chaque dosage en centimètres cubes. Azotique.	Quantités d'acides entrant dans chaque dosage en centimètres cubes. Sulfurique.	Températures des acides et des mélanges immédiatement après leur préparation.	Densités. Poids d'un litre.	Densités. Degrés à l'aréomètre.	Proportion de pyroxyle pour 100 de coton	Vitesse imprimée à la balle dans le fusil-pendule.
		°	kil	°		m
1000	"	Acide azotique.. 17,00 (A).	1,491	48,5	110,70	" (B)
900	100	Mélange........ 25,00	1,529	51,0	131,70	56,90 (C)
800	200	*id*.......... 30,00	1,558	53,0	143,50	320,55 (D)
700	300	*id*.......... 34,00	1,585	55,0	145,90	417,37 (D)
600	400	*id*.......... 35,00	1,639	57,0	158,50	424,77 (E)
500	500	*id*.......... 35,50	1,670	59,0	157,60	426,80 (E)
400	600	*id*.......... 36,00	1,712	61,0	159,20	427,73 (E)
300	700	*id*.......... 34,00	1,749	63,0	162,60	428,20 (E)
200	800	*id*.......... 31,00	1,778	64,0	143,40	411,57 (F)
100	900	*id*.......... 28,00	1,806	65,0	55,50	" (G)
"	1000	Acide sulfurique 17,00	1,835	66,0	"	"

OBSERVATIONS.

(A) L'acide était de couleur jaune paille.

(B) La charge a fusé lentement sans faire sortir la balle.

(C) Il y a eu projection d'une partie du pyroxyle non enflammé à chaque coup et production d'une odeur piquante et désagréable.

(D) Un coup sur dix a donné lieu à projection.

(E) Les échantillons brûlent en entier dans le fusil avec toutes les propriétés des bons pyroxyles.

(F) Le tir donne une odeur piquante comme lorsqu'il y a projection.

(G) La balle n'est pas sortie du fusil; fumée jaunâtre, odeur piquante.

» Une conclusion qui ressort de ce tableau, c'est qu'il » y a corrélation entre le rendement et l'énergie balistique, » en sorte que le dosage qui produit la plus grande quan- » tité de pyroxyle parait être aussi celui qui donne la » meilleure qualité. Cette corrélation s'est généralement » vérifiée dans toutes nos expériences et n'a semblé souf- » frir d'exception que lorsqu'il se faisait, pendant les ma- » nipulations, des décompositions partielles qui dimi- » nuaient le produit.

» On voit, en outre, qu'en mêlant à l'acide azotique $\frac{4}{10}$, » ou $\frac{5}{10}$, ou $\frac{6}{10}$, ou $\frac{7}{10}$, en volumes, d'acide sulfurique, les » pyroxyles sont à peu près égaux en force balistique. Les » petites différences qu'on a trouvées dans les vitesses de » la balle sont d'un ordre tel, qu'elles pourraient changer » de sens si l'on recommençait le tir. Toutefois, il y a cela » de remarquable que le maximum de vitesse et le plus » fort rendement correspondent au mélange de 3 volumes » d'acide azotique et de 7 volumes d'acide sulfurique.

» Il n'en a pas toujours été de même dans nos divers » essais.

» Dans le tableau suivant, on s'est tenu entre des limites » moins étendues, en partant des volumes égaux, 500 d'a- » cide azotique et 500 d'acide sulfurique, jusqu'au rap- » port de 1 volume d'acide azotique pour 3 d'acide sulfu- » rique.

Résultats donnés par des pyroxyles fabriqués dans des mélanges faits avec diverses qualités d'acide azotique.

Quantités d'acides entrant dans chaque dosage en centimètres cubes.		ACIDE AZOTIQUE A											
		50° jaune.		49° rouge.		47°		46°		45°		43°.	
Azotique.	Sulfurique.	Rendement.	Vitesse.	Rendement.	Vitesse.	Rendement.	Vitesse.	Rendement.	Vitesse	Rendement.	Vitesse.	Rendement.	Vitesse.
			m		m		m		m		m		m
500	500	160,00	426,82	153,00	360,26	153,20	413,20	141,67	374,10	141,60	390,44	"	"
475	525	162,00	439,03	158,00	410,55	"	"	"	"	"	"	"	"
450	550	162,50	428,64	152,50	357,72	"	"	"	"	"	"	"	"
425	575	161,50	434,69	154,00	389,81	"	"	"	"	"	"	"	"
400	600	162,50	430,19	153,50	353,54	"	"	"	"	"	"	"	"
375	625	162,00	435,46	154,50	388,85	"	"	"	"	"	"	"	396,90
350	650	159,25	429,60	156,00	413,17	"	"	"	"	"	"	"	"
333	667	"	"	"	"	156,40	413,13	157,00	413,27	155,00	409,25	"	"
325	675	160,25	447,93	157,50	411,06	"	"	"	"	"	"	"	"
300	700	158,25	422,60	158,50	431,68	"	"	"	"	"	"	"	"
275	725	152,00	421,51	156,50	422,61	"	"	"	"	"	"	"	"
250	750	147,00	265,22	"	"	"	"	"	"	"	"	"	406,43
200	800	129,25	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"

» Ce tableau contient des résultats donnés par des qualités
» différentes d'acide azotique; le premier de ces acides, à
» 50 degrés, était d'une couleur jaune-paille, et peut être
» considéré comme analogue à la majeure partie de celui
» qui a été livré au Bouchet; le second, à 49 degrés, avait
» une couleur rouge. On voit que les mêmes dosages n'ont
» pas donné les mêmes résultats avec l'un et l'autre acide.
» Pour le premier, les meilleurs résultats correspondent
» à environ 400 d'acide azotique en volume pour 1 000
» de mélange; pour le second, ils se rapprochent du rap-
» port, 300 d'acide azotique contre 700 d'acide sulfurique.
» Des essais ont, en outre, eu lieu avec des acides azo-
» tiques marquant, à l'aréomètre de Baumé, depuis 50
» jusqu'à 43 degrés. Les acides faibles ont donné des py-
» roxyles de qualité inférieure. Le tableau montre que le
» dosage 1 d'acide azotique et 2 d'acide sulfurique réussit
» mieux dans ce cas que celui des volumes égaux.

Dosage de M. Meynier, de Marseille.

» M. Meynier, professeur de chimie à l'École préparatoire
» de médecine et de pharmacie de Marseille, l'habile mani-
» pulateur qui a soumis les plus beaux échantillons à la
» *Commission du pyroxyle,* s'était arrêté à un dosage unique,
» celui de 3 volumes d'acide azotique et de 5 volumes d'a-
» cide sulfurique; dosage représenté dans le tableau précé-
» dent par le rapport $\frac{375}{625}$. Quoique les mélanges ainsi dosés
» soient en effet des plus avantageux, pour des acides de
» qualité moyenne, en les adoptant exclusivement, M. Mey-
» nier n'avait point fabriqué des pyroxyles égaux en éner-
» gie à ceux du Bouchet. Ses échantillons, si beaux en
» apparence, ayant été éprouvés, en sa présence, au fusil-
» pendule de la Direction des poudres, furent trouvés in-
» férieurs au pyroxyle de la fabrication courante du Bou-
» chet. Les résultats comparatifs de ces expériences sont
» consignés dans le tableau suivant.

Épreuves comparatives faites entre divers échantillons de pyroxyles fabriqués à la poudrerie du Bouchet dans des mélanges d'acides neufs ou ravivés, et, à Marseille, par M. Meynier, dans des mélanges exclusivement composés d'acides neufs (3 vol. d'ac. azot. et 5 d'ac. sulfur.).

Désignation des échantillons de pyroxyle		Série de coups	Poids de la balle	Recul du pendule	Impact.	Vitesses de la balle	Vitesses moyennes	Observations
			gr	m		m	m	
Échantillon n° 1.	Fait au Bouchet dans des acides neufs à volumes égaux.........	1	25,90	199	0	441,113	417,187	Ces épreuves ont été faites en employant le canon de fusil modèle 1816. La charge de chaque coup a été de 3 grammes.
		2	id.	190	+ 2	420,742		
		3	id.	173	0	383,480		
		4	id.	200	+ 2	442,887		
		5	id.	181	0	401,214		
Échantillon n° 2.	Fait à Marseille avec du coton choisi de couleur très-blanche dans des acides neufs (3 d'acide azot. et 5 d'ac. sulfur.).	1	id.	195	0	432,246	392,183	
		2	id.	175	+ 6	386,750		
		3	id.	180	0	398,997		
		4	id.	169	+10	372,741		
		5	id.	167	0	370,181		
Échantillon n° 3	Fait au Bouchet dans les acides ayant déjà servi une fois et ravivés par ⅓ d'acide sulfur...	1	id.	202	+ 8	445,973	425,104	Le pyroxyle a une teinte jaune
		2	id.	190	+ 2	420,742		
		3	id.	197	−10	438,863		
		4	id.	188	− 6	416,730		
		5	id.	183	+12	403,216		
Échantillon n° 4.	Fait à Marseille avec du coton ordinaire en ouate	1	id.	160	0	354,664	397,861	Pyroxyle moins blanc que le n° 2.
		2	id.	182	0	403,430		
		3	id.	182	0	403,430		
		4	id.	187	− 2	414,100		
		5	id.	187	+ 4	413,685		
Échantillon n° 3.	De Marseille	1	id.	113	+ 4	249,980	279,057	Chargement avec une bourre de crin pesant 3 grammes
		2	id.	129	+12	308,134		
Échantillon n° 4.	Du Bouchet..... ...	1	id.	155	+20	340,144	314,792	id.
		2	id.	167	+ 4	369,441		

» Nous avons parlé de décompositions partielles qui » diminuent parfois le produit ; elles ont pour cause une » élévation de température sur un point qui n'est pas im- » prégné assez vite d'une suffisante quantité du mélange. » Au début, on les arrête facilement en les comprimant » avec un large tampon ou refouloir de verre, et en fai- » sant ainsi affluer le liquide à l'endroit attaqué. Remarques relatives au décompositions.

» Le résultat de ces décompositions incomplètes est une » substance pâteuse, qu'il est ensuite assez difficile d'en- » traîner par le lavage.

» Si on leur laisse prendre trop de développement, elles » peuvent continuer jusqu'à l'entière combustion du co- » ton ; et alors la chaleur acquiert une si grande intensité, » qu'elle brise quelquefois les vases dans lesquels on fait » l'opération.

» Ces décompositions ou combustions sont accompa- » gnées d'un dégagement de vapeurs rouges, et souvent, » d'une vive effervescence et de projections dangereuses » pour les opérateurs.

» On a remarqué que ces phénomènes étaient plus fré- » quents avec le coton à l'état brut qu'avec le coton cardé.

» Cela s'explique par la difficulté que le liquide éprouve » à pénétrer cette substance, lorsqu'elle n'a pas encore été » ouverte par le batteur ou par la carde.

» On doit dire aussi que les décompositions, d'abord » nombreuses avant que les ouvriers fussent exercés, de- » vinrent très-rares par la suite ; elles étaient presque » toujours l'indice d'un trempage mal conduit. Cependant » le dosage des mélanges a aussi son influence ; ceux qui » renferment 1 d'acide azotique pour $1\frac{1}{2}$ d'acide sulfu- » rique, ou qui se rapprochent de ces proportions, sont » les moins sujets à produire des décompositions. On y est » plus exposé avec ceux dans lesquels la quantité d'acide » azotique atteint ou dépasse la moitié en volume, et avec

» ceux dans lesquels elle descend vers le quart. Les dé-
» compositions présentent des caractères différents suivant
» l'acide qui est en excès. Si c'est l'acide azotique, elles
» sont plus faciles à comprimer, et il reste une sorte de
» pâte adhérente au coton; si c'est l'acide sulfurique,
» elles sont plus vives, et la partie du coton attaquée se
» dissout.

» Elles se produisent quelquefois lorsqu'on comprime
» plusieurs kilogrammes de pyroxyle, pour en extraire les
» acides non combinés, et alors elles ont plus de gravité,
» parce qu'elles ont plus d'aliment. Il faut se garder d'y
» jeter de l'eau : on ne ferait que leur donner plus d'inten-
» sité; mais on les arrête en versant dessus des mélanges
» qui ont déjà servi.

» Dans les préparations en petites quantités, 100 par-
» ties de coton séché et épuré produiront 175 de pyroxyle;
» mais on n'obtient pas un rendement aussi fort dans la
» fabrication en grand. Cela tient à deux causes princi-
» pales : l'humidité renfermée dans le coton, qui est
» moyennement de 8 pour 100, et les décompositions.

» A l'origine de la fabrication, les décompositions étant
» plus nombreuses, le rendement n'a été que de 141,43
» pour 100 de coton dans l'état hygrométrique moyen, ou
» 154,40 pour 100 de coton supposé sec.

» Plus tard, on a mesuré le rendement sur une série de
» trempages, qui a produit 599^{kil},68 de pyroxyle, et on
» l'a trouvé de 165,27 pour 100 de coton sec. Ce rappro-
» chement peut faire juger de l'altération du rendement
» par suite des décompositions.

Prix de revient du pyroxyle.

» Nous allons d'abord calculer le prix auquel est re-
» venu le pyroxyle fait en 1847 et 1848, à la poudrerie du
» Bouchet, dans les conditions d'une installation provi-
» soire.

Il a été fabriqué en 1847.........	kil 3217,87
Il a été fabriqué en 1848.........	1444,55
Total.........	4662,42

» Voici le relevé de toutes les dépenses relatives à cette » fabrication :

1°. *Sur le compte de* 1847 :

kil 3296,50 de coton au prix moyen de fr 2,4780........	fr 8169,92	
12200,00 d'acide azotique à........ 3,0000........	36600,00	
18500,00 d'acide sulfurique à...... 0,2300........	4255,00	
13102,41 d'ac. extraits des résidus à 0,2077........	2873,56	
Journées d'ouvriers pour les manipulations.........	6371,27	
id. pour réparations d'ustensiles....	386,04	fr 60707,74
Valeur des matières employées pour réparations.....	488,78	
id. ustensiles consommés..................	1291,40	
id. *id.* employés pour réparations.....	212,77	
Frais d'embarillage..............................	46,00	
Menus frais..	13,00	

2°. *Sur le compte de* 1848 :

Journées d'ouvriers pour les manipulations...........	791,77	
id. pour les réparations..............	167,04	
Valeur des matières employées pour réparations.......	88,99	1546,69
id. ustensiles consommés.....................	483,39	
Frais d'embarillage..................................	15,50	
Total.............		62254,43

» On doit déduire du chiffre précédent la va- » leur des restants en magasin au 31 décembre » 1848, savoir :

kil 195,94 de coton à.......... fr 2,478................	fr 485,54	
2122,95 d'acide azotique à.... 3,000................	6368,85	7339,77
1740,55 d'acide sulfurique à.. 0,230................	400,33	
472,50 de résidus d'acides à 0,180............ ...	85,05	
Reste pour le montant des dépenses.........		54914,66

» Le prix moyen qui ressort des données précédentes est » de 11fr,75 par kilogramme.

» A l'époque où la Direction des poudres eut à passer » des marchés pour se procurer les acides dont elle avait » besoin, personne n'avait encore fabriqué en grand de

» l'acide azotique monohydraté. C'était un produit de laboratoire, coté 8 francs sur les prix courants. Aussi les fabricants demandèrent-ils des prix trop élevés. MM. Bergerat et Letellier furent ceux qui offrirent les conditions les moins onéreuses, en s'engageant à fournir l'acide azotique monohydraté à 3 francs le kilogramme, et l'acide sulfurique à 23 centimes. Telles sont les valeurs d'après lesquelles nous avons calculé le prix moyen présenté ci-dessus.

» Les procédés de fabrication de l'acide azotique s'étant perfectionnés par l'expérience, la Direction des poudres reçut, vers la fin de 1847, des offres à meilleur marché. MM. Bergerat et Letellier abaissèrent leur prix à 1fr,25, à la condition toutefois que la poudrerie leur rendrait les résidus devenus impropres à la fabrication. En outre, le coton baissa sur le marché, et nous aurions pu nous procurer au prix de 1fr,90 ce que nous avions payé 3 francs précédemment.

» Quoique l'on n'ait point fabriqué dans les conditions de bon marché résultant de l'abaissement des prix de l'acide azotique et du coton, on peut facilement en apprécier la portée relativement au prix du pyroxyle. Pour fixer les idées, nous allons appliquer les diminutions à une fabrication de 599kil,68, dans laquelle les mélanges ont servi deux fois après avoir été révivifiés, la seconde fois par une addition d'acide sulfurique, et pour laquelle il a été employé :

kil 1403,06	d'ac. azot. qui ne doiv. plus être évalués qu'à	fr 1,25 le kil.	fr 1753,83
3308,34	d'acide sulfurique à........................	0,23 le kil.	760,92
394,40	de coton, prix réduit à.....................	1,90 le kil.	749,36
	Frais de fabrication..........................		928,25
	Total.................		4192,36

» On a retiré 2256kil,34 de *mélanges n°* 3, dont la valeur n'est pas à déduire, puisqu'ils auraient dû être rendus au fournisseur, comme nous l'avons dit plus haut.

» En divisant 4192^{fr},36 par 599^{kil},68, le quotient » 6^{fr},99, ou en nombre rond, 7 francs, est le prix de revient du kilogramme de pyroxyle, auquel on serait arrivé » en 1848, si la fabrication eût continué sans accidents.

» Cette limite pourrait, sans doute, être abaissée par le » perfectionnement des procédés. Cependant nous croyons » qu'il serait difficile de la faire descendre au-dessous de » 6 francs, à moins qu'on ne réunît, dans le même établis- » sement, la fabrication de l'acide azotique, celle de l'acide » sulfurique et celle du pyroxyle, pour obtenir toutes les » matières premières au plus bas prix, et pour utiliser » tous les résidus.

» Mais, pour discuter cette question, il nous faudrait » entrer dans des considérations hypothétiques; nous » croyons devoir nous en abstenir, et rester dans le do- » maine des faits constatés par l'expérience. »

M. Meynier, de Marseille, a publié un Mémoire descriptif de diverses opérations, dont l'ensemble constitue la fabrication du pyroxyle. Il suppose, pour établir le prix de revient de ce produit, que l'État pourrait obtenir du commerce l'acide azotique à 51 degrés, au prix de 1^{fr},25 le kilogramme, l'acide sulfurique à 17 centimes le kilogramme, et le coton à 2 francs le kilogramme, en admettant que les vieux acides seraient conservés pour être revendus aux fabricants qui les payeraient 44 centimes le kilogramme.

D'après ces bases, le prix de revient, dans la fabrication du Bouchet, aurait été :

kil		fr	fr
1403,06	d'acide azotique à..	1,25 le kilogramme..............	1753,83
3308,34	d'acide sulfurique à	0,17 le kilogramme.......	562,18
394,40	de coton à.........	2,00 le kilogramme...............	788,80
		Frais de fabrication..........	928,25
		Total.................	4033,06
	A déduire pour 2236^{kil},34 de mélanges d'acides à 0^{fr},44 le kil.		983,99
		Reste................	3049,07

Ce qui, pour une fabrication de $599^{kil},68$, mettait le prix de revient du kilogramme de pyroxyle à $5^{fr},08$, au lieu de 7 francs.

On ignore si les prix, qui servent de base au calcul de M. Meynier, pourraient être effectivement obtenus dans une fabrication courante; mais ce que l'on sait, c'est qu'à Paris, même dans les derniers temps, après que la fabrication des acides eut fait des progrès notables, on n'a pu se procurer les acides à des prix plus bas que ceux qui ont été adoptés par M. Maurey, dans ses calculs pour une fabrication considérable.

« Nous adopterons donc le chiffre de 7 francs pour com- » parer le prix de revient du pyroxyle avec celui de la » poudre. Cette comparaison, dont les éléments sont grou- » pés dans le tableau suivant, n'est pas sans intérêt, parce » qu'on a publié, à cet égard, des chiffres inexacts, en » confondant le prix de vente des poudres avec leur prix » coûtant dans les magasins des poudreries.

» La différence qui existe entre les valeurs des matières » premières employées pour 1 kilogramme de poudre, varie » de $0^{fr},79$ (poudre de mine) à $0^{fr},95$ (poudre de chasse), » tandis que cette valeur est de $5^{fr},44$ pour le même poids » de pyroxyle.

Tableau comparatif des prix de revient des poudres et du pyroxyle.

DÉSIGNATIONS.		POUDRES.							PYROXYLE.		OBSERVATIONS
			GUERRE.		CHASSE ORDINAIRE.						
		Mine.	Pour le département de la Guerre ou de la Marine.	Pour le département des Finances.	Pour le département de la Guerre ou de la Marine.	Pour le département des Finances.	Chasse superfine.	Chasse extrafine.			
Matières premières.	Salpêtre...	fr 0,668	fr 0,809	fr 0,809	fr 0,842	fr 0,842	fr 0,842	fr 0,842	Coton..	fr 1,250	
	Soufre	0,052	0,032	0,032	0,026	0,026	0,026	0,026	Ac. azot.	2,924	Pour établir le prix des poudres, on est parti des chiffres suivants :
	Charbon ..	0,073	0,083	0,083	0,080	0,080	0,080	0,080	Ac. sulf.	1,270	
Total		0,793	0,924	0,924	0,948	0,948	0,948	0,948	Total...	5,444	Prix de revient du salpêtre raffiné.... fr 1,07
Frais de fabrication		0,373	0,539	0,506	0,643	0,742	1,030	1,444	Fr. de fab.	1,556	Id. du soufre raffiné...... 0,25 Id. du charb. de bois blanc 0,40
Prix de revient de 1 kil..		1,166	1,463	1,430	1,591	1,690	1,978	2,392	Pr. de 1 kil	7,000	Id. de bourdaine......... 0,60
Quantité de chaque poudre équival. pour le prix à 1 kilogr. de pyroxyle.		kil 6,00	kil 4,78	kil 4,91	kil 4,40	kil 4,14	kil 3,54	kil 2,93		kil 1,00	Pour le pyroxyle, les bases du prix de 7 francs sont données plus haut

» La dernière ligne du tableau présente la quantité de » chaque espèce de poudre équivalente, *quant au prix*, à » 1 kilogramme de pyroxyle.

» En résumé, le prix de revient du pyroxyle est d'environ » six fois celui de la poudre de mine, et trois fois celui » de la poudre la plus chère. Il faudrait donc que le py» roxyle fût six fois aussi fort que la première, et trois fois » aussi fort que la seconde, pour que des effets égaux coû» tassent le même prix. Or le pyroxyle paraît être resté » au-dessous de ces limites, même dans le cas où il agit le » plus avantageusement. »

Ce tableau prouve que, même en supposant qu'on ait obtenu les réductions de prix indiquées ci-dessus, dans les matières premières, il en coûterait beaucoup plus cher avec le pyroxyle qu'avec toutes les poudres, et que la même conséquence subsisterait encore si le prix de revient du pyroxyle pouvait être abaissé à 5 francs le kilogramme, comme quelques personnes l'ont annoncé, mais sans que cela ait encore été réalisé.

Le mélange seul de pyroxyle et de salpêtre paraîtrait, pour les mines, pouvoir, en certains cas, entrer en concurrence avec les poudres ordinaires.

On peut tirer quelques conséquences remarquables de la comparaison que M. Maurey établit ici entre les prix de revient de la fabrication des diverses poudres.

En effet, en tenant compte du prix des matières premières et de la main-d'œuvre pour chacune d'elles, M. Maurey suppose que le prix des matières premières, qui a été, pour la fabrication du pyroxyle effectuée au Bouchet, de

fr
3,00 le kilogramme de coton,
3,00 le kilogramme d'acide azotique,
0,23 le kilogramme d'acide sulfurique,

se soit abaissé à

fr
1,90 pour le coton,
1,25 pour l'acide azotique;

et, d'après les prix réduits, il trouve que le kilogramme de pyroxyle de coton reviendrait à 7 francs.

Or les prix de revient des poudres, matières premières et frais de fabrication compris, sont :

Poudre de mine....................	fr 1,166 le kil.
Poudre de guerre..................	1,463
Poudre de chasse fine...............	1,690
Poudre de chasse superfine...........	1,978
Poudre de chasse extrafine............	2,392

D'après ces bases, et sachant par les expériences quelle est la quantité de chaque espèce de poudre qui équivaut, pour l'effet produit, à 1 kilogramme de pyroxyle, on peut calculer le prix de revient de cet effet produit par les différentes matières explosives.

Les résultats de ce calcul sont consignés ci-après :

MATIÈRES EXPLOSIVES EMPLOYÉES ...	PYROXYLE.	POUDRE DE GUERRE.						POUDRE de chasse extra-fine. — Fusil.	SALPÊTRE et pyroxyle.
		Fusil.	Canon.	Mortier.	Projectiles creux.	MINES. Dans un calcaire tendre.	MINES. Dans du plâtre en galeries souterraines.		
Quantités équivalentes pour un même effet produit............	kil 1,00	kil 2,86	kil 2,50	kil 2,10	kil 3,20	kil 2,00	kil 3,00	kil 1,728	kil 1,20
Prix du kilogramme...	fr 7,00	fr 1,463	fr 1,463	fr 1,463	fr 1,463	fr 1,463	fr 1,463	fr 2,392	fr 4,37
Dépenses pour un même effet..............	7,00	4,17	3,66	3,08	4,68	2,93	4,39	4,20	5,24

Des décompositions ou réactions spontanées.

« Il y a entre les éléments du pyroxyle une instabilité
» d'équilibre qui se manifeste de plusieurs manières : tan-
» tôt par des décompositions lentes et humides ; tantôt par
» des explosions spontanées incomplètes ; enfin, par des
» inflammations spontanées.

Décompositions lentes et humides.

» Nous avons observé des effets d'altération sur plusieurs
» échantillons conservés dans des barils et en lieu sec : dans
» les uns, au bout de trois mois et demi ; dans les autres,
» au bout de neuf mois. Une odeur piquante s'y était dé-
» veloppée ; tous contenaient de l'acide formique et une
» quantité d'humidité, variant de 1,63 à 11,50 pour 100.
» Dans les plus humides, on reconnaissait que les fila-
» ments avaient éprouvé un commencement de désorgani-
» sation.

» Les pyroxyles fabriqués dans les acides neufs à vo-
» lumes égaux étaient les moins altérés ; ils imprimaient
» encore à la balle d'aussi bonnes vitesses, avec les $\frac{2}{100}$
» d'humidité dont ils étaient imprégnés, après quatre mois
» et demi de séjour en magasin.

» Ceux qui provenaient des mélanges ravivés avaient
» pris, dans le même laps de temps, $\frac{4}{100}$ à $\frac{5}{100}$ d'humi-
» dité ; en les faisant sécher, on leur rendait leur énergie
» primitive.

» Mais les échantillons fabriqués dans les acides n° 2
» non ravivés, et qui s'étaient chargés de 11,50 pour 100
» d'humidité en huit mois et demi, avaient beaucoup perdu
» de leur force balistique. Essayés humides, ils prenaient
» feu dans le fusil sans même lancer la balle jusqu'au ré-
» cepteur, et, après le séchage, ils avaient baissé de $411^{m},88$
» à $256^{m},67$.

» Ces altérations suivaient une certaine loi ; elles étaient,
» en général, plus graves pour les échantillons dans la fa-
» brication desquels on avait employé plus d'acide sul-
» furique. On reconnut que les lavages à l'eau pure, quel-

» que prolongés qu'ils fussent, n'enlevaient point les der- » nières traces de cet acide, auquel il faut attribuer une » grande influence dans les phénomènes signalés.

» Depuis lors, tout le pyroxyle fabriqué était lessivé » dans des eaux alcalines. Des échantillons préparés avec » de la potasse, de la soude, de la chaux, de l'ammoniaque » et de la baryte avaient été mis dans des barils, pour en » étudier la conservation. Au bout de six à sept mois, on » n'y avait pas aperçu d'altération; malheureusement, ils » ont été détruits dans l'explosion du 17 juillet 1848. On » ne peut pas juger avec certitude de ce qui aurait eu lieu » en grand, par la manière dont les échantillons de quel- » ques grammes se sont conservés; nous dirons cependant » que ces derniers, renfermés dans du papier, n'ont éprouvé » aucune altération depuis quinze mois.

» Deux échantillons de 500 grammes chacun, conservés » depuis le 7 septembre 1847, l'un dans l'eau, l'autre dans » la terre, ont été séchés et éprouvés le 8 février 1849. » Celui que l'on avait retiré de la terre y avait pris 65 » pour 100 d'humidité; mais on n'a remarqué aucune » trace d'altération, ni dans l'un ni dans l'autre, et » tous deux ont donné, au fusil-pendule, des résultats au » moins égaux à ceux qui avaient été trouvés antérieure- » ment.

Exemple d'explosion spontanée incomplète.

» Quelques grammes de pyroxyle à base de coton cardé, » fabriqué au Bouchet, et mis en réserve, comme l'un des » meilleurs, dans un flacon bouché à l'émeri, ont donné un » exemple d'explosion spontanée incomplète. Le flacon avait » été placé sur une étagère de laboratoire; trois mois après, » on eut l'occasion de l'examiner et l'on fut surpris de » trouver le bouchon à terre, où il avait été projeté par la » force élastique des gaz qui avaient pris naissance par suite » d'une décomposition. Le pyroxyle était métamorphosé » en une matière molle un peu élastique, d'une odeur

» acide désagréable, et rougissant fortement le papier de » tournesol.

» On reboucha le flacon et l'on reconnut qu'il conti- » nuait à se dégager du résidu, un fluide élastique qui pré- » sentait les caractères du deutoxyde d'azote. Il y a même » eu une seconde fois, par une chaude journée d'été, pro- » jection du bouchon, plusieurs mois après la première.

» Une observation analogue a été faite à Montreuil, sur » du pyroxyle à base de lin, qui, dans un bocal de verre, » s'était décomposé spontanément avec une élévation de » température insuffisante toutefois pour déterminer l'ex- » plosion.

» Les faits que nous venons de citer ne peuvent laisser » de doute sur la propriété que possède le pyroxyle de se » décomposer spontanément. Si l'échauffement produit n'a » pas été assez grand pour qu'il y eût réaction complète, » cela tient, sans doute, à la petitesse des quantités. Plus » la masse en travail de décomposition est considérable, » plus la chaleur développée doit être intense, et l'on » conçoit qu'alors il puisse y avoir inflammation spon- » tanée.

Accident de la sécherie du Bouchet.

» Il y avait, au moment de l'explosion, sur la table de » la sécherie du Bouchet, 23 kilogrammes de pyroxyle dans » un état déjà avancé de dessiccation. L'élève maître-pou- » drier Legouëf venait de sortir de l'usine depuis un quart » d'heure, et d'y constater qu'à l'endroit le plus chaud, » le thermomètre ne marquait que 44 degrés centigrades. » Craignant que, pendant l'heure de son repas, la chaleur » ne vînt à augmenter, il avait même eu le soin de tourner » le robinet pour diminuer l'entrée de la vapeur dans les » cylindres chauffeurs, ce qui avait dû faire baisser un peu » la température.

» On a remarqué qu'un thermomètre à chemise en verre, » placé à l'intérieur contre l'un des murs de l'usine, n'a-

» vait éprouvé aucun dommage, et que la ficelle qui le » soutenait n'était pas même roussie. Ce mur était cependant démoli en grande partie, et ce qui en restait debout » avait perdu son aplomb.

» Le magasin de Vincennes était construit en planches, » et renfermait 76^{kil},80 de pyroxyle, placés dans onze barils de la contenance de 50 kilogrammes de poudre. Il y » avait un échantillon de pyroxyle à base de lin tissé. On » supposa, par analogie avec ce qui avait été observé à » Montreuil sur du pyroxyle de lin, que ce devait être le » lin tissé qui avait pris feu le premier; mais, selon nous, » il n'y a pas plus de raison d'attribuer l'accident au lin » qu'au coton. Ce qui est positif, c'est que personne n'était » entré dans le magasin depuis deux jours, et que l'explosion arrivée à 5^{h} 30^{m} du matin ne peut s'expliquer que » par une inflammation spontanée. Explosion de Vincennes.

» La quantité de pyroxyle qui a été détruite dans le magasin de dépôt où l'on embarillait cette substance au Bouchet, est de 1604^{kil},92. Il n'y avait pas un atome de pyroxyle à base de lin; par conséquent, il est impossible cette » fois d'attribuer l'accident à la nature de cette substance. Explosion du 17 juillet 1848, au Bouchet.

» Au moment de l'explosion, un thermomètre centigrade placé au nord, dans notre bureau, marquait 23 degrés; il est probable que la température n'était pas de » plus de 25 degrés dans le magasin qui a sauté.

» Quatre élèves maîtres-poudriers, jeunes gens pleins » d'avenir et de dévouement, ont été tués; trois autres » personnes ont été blessées. On n'a retrouvé que des débris, littéralement hachés, du cadavre de la seule victime qui fût sans doute dans le magasin; un lambeau » de la poche du gilet de ce malheureux, sans traces de » brûlures, renfermait une lettre intacte.

» Les désastres ont été énormes; le bâtiment, dont les murs » avaient 1 mètre et 50 centimètres d'épaisseur, a été détruit

» de fond en comble. A sa place, il s'est produit un large en-
» tonnoir d'environ 4 mètres de profondeur sur 16 mètres
» de diamètre. Toutes les douelles et tous les cercles des
» barils où le pyroxyle était renfermé, avaient disparu en-
» tièrement, comme s'ils eussent été volatilisés; néanmoins,
» des pièces de bois, faisant partie de la construction, ont
» été retrouvées brisées et sans aucunes traces de carbo-
» nisation. Cent soixante-quatre arbres, à l'entour, ont été
» ou complétement emportés ou coupés, les uns à ras de
» terre, les autres à diverses hauteurs dans le prolonge-
» ment des directions de l'entonnoir formé; les plus voi-
» sins de l'explosion étaient dépouillés de leur écorce, et
» clivés jusqu'aux racines en filaments ressemblant à des
» chènevottes; des chevrons en fer de la toiture étaient
» enroulés en spirales autour des débris; d'autres, lancés
» au loin, étaient en morceaux ou tourmentés en tous
» sens. On a trouvé, dans le prolongement sud-ouest du
» grand axe du bâtiment, et jusqu'à 300 mètres environ,
» une ligne de matériaux classés par ordre de densité : les
» bois le plus près, puis les pierres, et enfin les débris de
» fer le plus loin. »

Aux exemples d'explosions rapportés par M. Maurey, on croit devoir joindre ceux qui ont été observés antérieurement et depuis. Dès les premiers essais de préparation exécutés au Dépôt central de l'artillerie, on avait reconnu que la dessiccation dans des étuves, à des températures moyennes, ne s'élevant qu'à 75 ou 80 degrés centigrades, donnait lieu à des explosions.

L'horrible accident qui, à Dartford, a coûté la vie à vingt ou vingt-quatre personnes, et détruit des ateliers où l'on venait de constater que la température n'était que de 40 et quelques degrés centigrades, confirmait ces résultats.

Depuis, M. Payen a reconnu que, quand le pyroxyle de coton le plus pur et le mieux préparé est soumis à une

température de 50 à 60 degrés, il se produit une décomposition lente, mais continue, qui se termine par une explosion spontanée. M. Pelouze a constaté le même fait à des températures de 60 à 80 degrés (*).

Or M. Maurey a observé qu'un thermomètre placé entre deux couches de pyroxyle exposé au soleil, s'est élevé à 69 degrés, tandis qu'un second thermomètre, placé à côté et en dehors du pyroxyle, n'accusait que 34 degrés.

Il est donc dangereux de sécher cette matière à l'aide de la chaleur artificielle ou solaire; et, si l'on veut donner quelque activité à la dessiccation, il y a nécessité de recourir à une ventilation par de l'air froid.

On doit aussi éviter de comprimer le pyroxyle et de le transporter à l'état sec; il faut le livrer à l'état humide aux consommateurs; ceux-ci, pour le sécher, auraient des dangers à courir, s'ils n'observaient pas les précautions indiquées plus haut.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES.

De l'ensemble de toutes ces recherches et expériences exécutées pour étudier les effets des nouvelles matières explosives connues sous le nom générique de pyroxyle, on doit tirer les conclusions suivantes :

Armes de guerre.

1°. Dans l'état actuel auquel les diverses tentatives faites par l'artillerie, et par différents chimistes et industriels ont amené la préparation de ces produits, il n'y a pas lieu de continuer les expériences au point de vue de leur emploi dans les armes de guerre.

Mines militaires.

2°. En ce qui concerne l'usage de ces substances dans les mines militaires, il ne serait pas possible de les livrer

(*) Séance de l'Academie des Sciences, 22 janvier 1849.

autrement qu'à l'état humide au service du génie, à cause des dangers que présentent leur conservation et leur transport à l'état sec. Mais, en admettant que cette condition, qui entraîne avec elles les difficultés et les dangers de la dessiccation par les moyens dont on dispose à la guerre, fût acceptée par le service du génie, l'emploi du pyroxyle de coton dans les mines militaires, dont la plus grande partie agit dans les terres, n'offrirait aucune économie sur celui de la poudre de guerre.

Travaux publics.

3°. Pour les travaux publics et pour ceux de l'industrie, si la condition de la livraison et de l'expédition à l'état humide pouvait être acceptée, il serait bon de compléter les expériences par des essais exécutés dans de grandes exploitations, telles que les extractions de roches qui se font en ce moment à Saint-Nazaire, à Cherbourg, etc., sous la direction des ingénieurs des ponts et chaussées, en employant comparativement le pyroxyle, la poudre de guerre et la poudre de mine. Toutefois, si de nouvelles quantités de pyroxyle devaient être fabriquées pour ces essais, la prudence exigerait impérieusement que cette fabrication fût établie dans des locaux complétement isolés des poudreries.

EXPÉRIENCES

SUR LA

RÉSISTANCE QUE L'EAU OPPOSE AU MOUVEMENT DES ROUES A PALETTES PLANES.

[Extrait du sixième Rapport de la Commission des principes de tir (*) de l'École d'artillerie de Metz (1838)].

Les expériences, rapportées et discutées dans ce travail, avaient pour but de déterminer les lois et l'intensité de la résistance qu'une masse d'eau, en quelque sorte indéfinie, oppose au mouvement des roues à palettes planes, telles que celles des bateaux à vapeur. *But de ces expériences.*

Afin de se rapprocher le plus possible des divers cas qui peuvent se présenter dans la pratique, on a exécuté ces épreuves dans une eau morte sans courant, analogue à celle d'un canal, et ensuite dans une eau courante, en faisant marcher la roue soit dans le sens du courant, soit en sens contraire.

Le bassin de la Moselle situé près du pont Tiffroy, sur la rive droite de cette rivière, à Metz, et qui avait déjà été utilisé pour les expériences sur l'écoulement de l'eau, entreprises par MM. Poncelet et Lesbros, offrait un emplacement très-convenable. Sous une baraque établie sur la retenue d'eau de ce bassin, on disposa une plate-forme en *Dispositions et emplacement adoptés.*

(*) La Commission était composée du chef d'escadron Piobert et des capitaines Péronnier, Morin et Didion. M. Morin était plus particulièrement chargé de l'exécution des expériences sur la résistance de l'eau.

madriers sur laquelle était placée, à une hauteur constante, la roue à ailettes destinée aux essais à faire dans une eau tranquille.

Une chèvre équipée à haubans et dont le sommet était à 17 mètres environ au-dessus du fond du premier bassin de jauge, situé en aval du barrage, portait à son extrémité supérieure une poulie en bois de 272 millimètres de diamètre moyen à la gorge, y compris l'épaisseur de la corde, de sorte qu'un poids moteur suspendu à cette corde pouvait descendre d'une hauteur de 16 mètres. La corde venait s'enrouler sur une poulie ayant $0^{m},1785$ de rayon (y compris le demi-diamètre de la corde) et placée à l'une des extrémités de l'arbre de la roue.

La roue se composait de deux systèmes de quatre bras chacun, assemblés dans deux jantes annulaires de 505 millimètres de rayon extérieur. Ces jantes, percées chacune de vingt mortaises, recevaient à volonté autant ou moins de coyaux, sur lesquels étaient fixées les palettes dont le nombre et la grandeur pouvaient ainsi être variés.

A l'une des extrémités de l'arbre, un encliquetage permettait d'arrêter ou de laisser marcher la roue à volonté.

On a aussi exécuté quelques séries d'expériences sur une roue de $2^{m},612$ de diamètre, ayant des palettes de 70 centimètres de large dans le sens de l'axe sur 506 millimètres dans le sens du rayon.

Pour l'exécution des expériences à faire dans une eau courante, on a établi, en aval du barrage, un canal en bois de $1^{m},15$ de largeur et de 66 centimètres de profondeur, sur lequel on a placé la roue à palettes, qui était encore mise en mouvement par des poids suspendus à la corde passant sur la poulie supérieure de la chèvre. En enroulant cette corde dans un sens ou dans un autre, on pouvait faire marcher la roue dans le sens du courant ou en sens contraire.

Lorsqu'on lâchait l'encliquetage, la roue, cédant à l'action du poids moteur, se mettait en mouvement et atteignait bientôt une vitesse uniforme de rotation que l'on observait à l'aide d'un compteur à pointage de Breguet, donnant les dixièmes de seconde.

On comptait plusieurs fois, dans une même expérience, le temps nécessaire pour un ou plusieurs tours, et chaque épreuve était en outre répétée deux ou trois fois.

La profondeur d'immersion des palettes était mesurée avec soin à chaque expérience, et l'on pouvait la varier d'une série à l'autre, au moyen des vannes de prise d'eau et de décharge du bassin, à l'aide desquelles on établissait assez promptement un niveau constant.

Tout l'appareil était abrité du vent; du reste, la plupart de ces essais ont été exécutés par un temps calme.

Afin de faire varier successivement tous les éléments qui peuvent exercer quelque influence sur les résultats, on a subdivisé les séries d'expériences ainsi qu'il suit :

Les ailettes employées avec la petite roue ont eu successivement pour dimensions : 100 millimètres sur 100, 200 millimètres sur 201, 300 millimètres sur 350, 600 millimètres sur 201.

Le nombre de ces ailettes a été de vingt, de dix, de cinq et parfois de quatre.

Les profondeurs d'immersion ont varié depuis l'immersion totale jusqu'à 3 ou 5 centimètres.

Pour la grande roue, les profondeurs d'immersion ont été de 506, 404 et 286 millimètres.

Enfin, les vitesses ont varié depuis les plus faibles que l'on pût obtenir régulièrement jusqu'à plus de 6 mètres par seconde, mesure prise au milieu de la partie des palettes plongée dans l'eau, ce qui dépasse de beaucoup les plus grandes vitesses absolues ou relatives des aubes des bateaux à vapeur.

Représentation graphique des résultats immédiats des expériences.

Après avoir apporté tous les soins possibles pour obtenir des résultats exacts, on a cherché à s'assurer de leur continuité avant de les soumettre au calcul; et, à cet effet, pour chaque série d'expériences correspondant à une même profondeur d'immersion, à un même nombre et à une même surface de palettes, on a construit des courbes dont les abscisses représentaient les poids moteurs, et les ordonnées, la durée en secondes du temps employé pour une révolution de la roue.

La continuité parfaite des courbes a montré que les observations avaient été faites avec tout le soin désirable, et ces tracés ont permis de déterminer avec précision la véritable durée moyenne d'un tour pour chaque poids moteur.

Effets apparents.

En examinant attentivement le mouvement de la roue, on voit d'abord que, quand elle marche à une petite vitesse, il se forme en avant de la palette un remous et en arrière une dépression dans laquelle le liquide s'écoule en vertu de la différence de niveau qui s'est établie.

La roue ayant une vitesse déjà acquise quand elle pénètre dans l'eau, tandis que le liquide qui la suit n'acquiert la sienne que graduellement, il se forme d'abord un creux en arrière de la palette au moment où elle vient d'entrer dans le liquide; et, quand elle a pénétré plus profondément, les filets fluides inférieurs, qui ont une plus grande vitesse, viennent choquer cette palette et perdre contre elle une partie de l'excès de vitesse qu'ils avaient acquise. A mesure que la vitesse de la roue augmente, le remous formé en avant des palettes s'élève; et, si elles sont presque totalement immergées, ce remous passe bientôt par-dessus et retombe en arrière. D'un autre côté, la dépression du niveau augmente en arrière de la palette; et, comme la vitesse d'arrivée de l'eau ne croît pas toujours dans une proportion suffisante et qu'à de certaines vitesses de la roue ce vide n'est pas rempli totalement, les palettes ne se trouvent plus

immergées de la même quantité et circulent comme dans une auge qu'elles vident incessamment. Cet effet devient de plus en plus remarquable à mesure que la vitesse augmente, et l'on en signalera plus loin les conséquences.

Pour la discussion des résultats immédiats des expériences, on a dû tenir compte des résistances passives de l'appareil, telles que le frottement des axes, la roideur des cordes et la résistance de l'air.

Il est inutile d'entrer ici dans le détail des formules numériques auxquelles on est parvenu; on se bornera à dire que, dans les limites d'exactitude auxquelles on peut atteindre dans de semblables recherches, la résistance totale R éprouvée par la roue circulant dans l'eau avait pour expression, savoir : pour la petite roue,

$$R = \frac{0,177\,P}{b} - R';$$

pour la roue de $2^{m},612$,

$$R = \frac{0,2344\,P - 0,304}{b + 0,001} - R',$$

ou

$$R = \frac{0,2346\,P - 0,090}{b + 0,0007} - R',$$

en prenant la deuxième de ces formules pour les poids moteurs inférieurs à 125 kilogrammes, et la troisième pour les poids plus considérables.

Dans ces trois formules, P représente le poids moteur; *b* le rayon moyen ou le bras de levier à l'extrémité duquel on sait qu'agit la résistance de l'eau, et que l'on a pris égal à la distance du milieu de la partie immergée de la palette verticale au centre de la roue; R′ la résistance que l'air oppose au mouvement de la roue rapportée à la même distance.

Pour la petite roue, la résistance de l'air R′, qui comprenait à la fois celle qu'éprouvaient les bras et les palettes hors Détermination de la ré-



sistance de l'air.

de l'eau, se déduisait facilement des expériences exécutées sur cette même roue et relatées dans le Mémoire (*) sur la résistance que l'air oppose au mouvement des corps plans, concaves et convexes. Quant à la grande roue de $2^{m},612$ de diamètre, on a fait des expériences spéciales en suivant la même marche que pour la petite. En prenant les résistances pour abscisses et les carrés de vitesse correspondants pour ordonnées, on a reconnu que tous les points ainsi déterminés se trouvaient sur une même ligne droite qui venait rencontrer la ligne des abscisses en un point situé en avant de l'origine; cette particularité indique que l'expression de cette résistance devait se composer de deux termes, l'un constant, indépendant de la vitesse, et l'autre proportionnel au carré de cette vitesse, ce qui, en définitive, d'après les dimensions de la roue et les données de l'expérience, conduisait, pour cette résistance R', à la formule suivante :

$$R' = 0^{kil},100 + 0,340\,V^2.$$

Le terme $0,340\,V^2$ provient de deux quantités qu'il importe de séparer pour pouvoir appliquer cette formule aux diverses expériences où la roue était noyée, et dans lesquelles une partie seulement de ses palettes et de ses bras était exposée à la résistance de l'air. A cet effet, les épreuves sur la petite roue, rapportées au Mémoire sur la résistance de l'air, ont permis de calculer à part la résistance éprouvée par les bras, et l'on est ainsi parvenu à la formule

$$R' = 0^{kil},100 + 0,0068\,V^2 + 0,1179\,\alpha\,O\,V^2.$$

Dans cette formule, le deuxième terme $0,0068\,V^2$ exprime la portion de la résistance totale que l'air oppose au mouvement des bras rapportés à la distance b_1 de l'axe, et le troisième terme $0,1179\,\alpha\,O\,V^2$ est la partie de cette résistance éprouvée

(*) Un extrait de ce Mémoire est inséré plus loin dans le présent volume.

par les palettes; α exprime le nombre de palettes exposées à la résistance de l'air, O la surface d'une palette et V la vitesse des points situés à la distance b_1 de l'axe de la roue; la valeur de b_1 est $b_1 = b\sqrt[3]{1+\left(\frac{i}{2b}\right)^2}$ ou sensiblement $b\left(1+\frac{i^2}{12b^2}\right)$, en désignant par i la hauteur de l'ailette dans le sens perpendiculaire à l'axe, et par b la distance du milieu de cette ailette à l'axe.

Les résultats directs des expériences et ceux de la comparaison des valeurs de la résistance de l'air correspondantes aux différentes vitesses déduites de la formule ci-dessus, avec celles que l'on a observées directement, sont contenus dans le tableau suivant :

POIDS moteurs.	DURÉE D'UN TOUR		VITESSE du milieu des palettes.	RÉSISTANCE TOTALE de l'air rapportée au milieu des palettes de la grande roue, déduite	
	Observée.	Moyenne.		De l'expérience.	De la formule.
kil	sec.	sec.	m:s	kil	kil
13,50	2,43 2,37	2,39	3,77	3,16	2,715
19,60	1,90 1,92	1,90	3,48	4,58	4,23
25,69	1,56 1,56	1,57	4,22	6,02	6,16
31,77	1,40 1,40	1,40	4,72	7,42	7,68
37,86	1,28 1,32	1,28	5,15	8,85	9,14
43,96	1,20 1,20 1,10	1,20	5,51	10,27	10,43
50,06	1,08 1,08	1,14	5,81	11,70	11,60
56,16	1,04 1,04 1,04	1,04	6,36	13,15	13,85

Si l'on remarque que la roue sur laquelle on a opéré était en charpente, que ses formes, bien que régulières, n'avaient pas la précision d'un appareil destiné à des épreuves aussi délicates que celles qui sont relatives à la résistance de l'air, qu'il était très-difficile de faire coïncider le centre de gravité avec l'axe de rotation, et qu'enfin, dans l'estimation de la résistance déterminée par l'expérience, on a tenu compte de la roideur de la corde et du frottement des axes de rotation, on trouvera sans doute que l'accord de ces résultats est aussi satisfaisant qu'on pouvait l'espérer.

On observera de plus que la valeur 0,1179 du coefficient de la résistance propre des palettes, par mètre carré de leur surface et par mètre de vitesse, diffère très-peu de celle que l'on a déduite d'épreuves directes beaucoup plus délicates. On voit donc que les résultats de ces expériences sont confirmés et étendus à des roues de grandes dimensions, et peuvent être employés au calcul de la résistance éprouvée par les surfaces planes des roues et de tous les autres appareils du même genre qui se meuvent dans l'air.

Recherche des lois de la résistance de l'eau dans le cas actuel.

Le but de ces recherches étant principalement de reconnaître les lois qui régissent la résistance de l'eau au mouvement des roues à palettes planes, il n'aurait pas suffi de déterminer, dans chaque cas, la valeur absolue de cette résistance; il fallait, en outre, comparer entre elles les valeurs obtenues pour diverses vitesses et surfaces d'immersion à l'effet d'en déduire ces lois. Le moyen le plus simple était de supposer l'existence d'une certaine loi et de comparer les conséquences de cette hypothèse avec les résultats de l'expérience. Dans le choix des diverses suppositions que l'on pouvait faire, on avait d'ailleurs, pour se guider, le tracé des courbes des résistances et des vitesses, car ces courbes ne sont autre chose que la représentation graphique, fournie par l'expérience, de la loi mathématique cherchée.

C'est ainsi que l'on a été conduit à comparer avec les résultats de l'expérience ceux d'une hypothèse d'après laquelle la résistance aurait pour expression, comme on l'a trouvé pour les corps solides et mous (*),

$$R = a(\alpha + \beta v^2),$$

formule dans laquelle on représente par a la surface moyenne des palettes exposée simultanément à la résistance; par α un coefficient numérique exprimant la résistance constante par mètre carré de surface mouillée; par β un coefficient constant exprimant la résistance par mètre carré de surface et pour 1 mètre de vitesse.

Pour appliquer cette expression aux palettes planes animées d'un mouvement circulaire, on observe qu'en nommant l la largeur de la palette, r la résistance d'un de ses éléments à l'axe de rotation, ω sa vitesse angulaire, on obtient, pour la résistance totale éprouvée par un élément de surface ldr, l'expression **Application de cette expression aux expériences.**

$$ldr(\alpha + \beta\omega^2 r^2),$$

et, pour la résistance totale éprouvée par une palette d'une hauteur i complétement immergée, et dont le milieu serait à une distance b de l'axe de rotation,

$$li\left[\alpha + \beta\omega^2 b^2\left(1 + \frac{i^2}{12 b^2}\right)\right].$$

Or, d'après les dimensions adoptées pour la roue soumise

(*) Mémoire sur la résistance qu'opposent des corps solides et mous à la pénétration des projectiles; par MM. Piobert, Morin et Didion. IVe numéro du *Mémorial*.

aux essais, on a, pour les palettes complétement immergées,

	Valeurs de $\frac{i^2}{12\,b^2}$.
De 0^m,10 de hauteur................	0,0027
De 0,20 de hauteur................	0,0090
De 0,35 de hauteur................	0,0221

et comme, pour tous les cas où les palettes n'étaient qu'en partie immergées, la valeur de ce terme est moindre, il est évident que, dans les limites d'approximation que l'on peut se flatter d'atteindre dans de pareilles recherches, il est permis de négliger le terme $\frac{i^2}{12\,b^2}$ devant l'unité, et alors l'expression de la résistance totale supportée par une palette se réduit à

$$li(\alpha+\beta\omega^2 b^2)=a(\alpha+\beta v^2),$$

en appelant a l'aire de la surface immergée de la palette et v la vitesse du point situé à la distance b de l'axe de rotation.

D'après cela, connaissant la valeur de la résistance R opposée par l'eau au mouvement de la roue et rapportée à la distance b de l'axe de rotation, on a posé pour chaque cas

$$R=a(\alpha+\beta v^2),$$

et, de la comparaison des diverses données et dimensions, on a pu déduire les valeurs des coefficients α et β de la résistance.

Mode adopté pour la comparaison de la résistance aux surfaces. On peut faire la comparaison de la résistance aux surfaces en calculant la résistance, soit par mètre carré de surface de chaque ailette, soit par mètre carré de la surface totale des ailettes simultanément immergées.

Ce dernier mode conduit, par son application rigoureuse, à des calculs compliqués et à des formules d'un usage

peu commode; on l'a néanmoins adopté comme étant le plus exact, attendu que la surface totale exposée à la résistance du milieu est variable et souvent bien différente en plus ou en moins de celle d'une seule palette. On a déterminé dans chaque série, pour plusieurs positions consécutives de la roue, la surface totale des portions simultanément immergées, et, prenant la moyenne entre toutes les surfaces ainsi calculées, on a obtenu la surface moyenne exposée à la résistance constante et à celle qui dépend de la vitesse.

Pour déterminer les valeurs des coefficients α et β, on a représenté graphiquement les résultats immédiats des expériences, en prenant les résistances pour abscisses et les carrés des vitesses pour ordonnées. Tous les points ainsi obtenus se trouvant sur une ligne droite qui vient rencontrer l'axe des abscisses en avant de l'origine, l'abscisse de ce point d'intersection a fourni la valeur du terme constant, et la tangente trigonométrique de l'angle formé par la ligne droite avec les ordonnées a donné le coefficient β.

C'est par ce moyen que l'on a déterminé graphiquement le coefficient α de la résistance dont les valeurs, relatives aux séries faites avec vingt palettes de 20 centimètres sur 20, de 30 centimètres sur 35 et de 60 centimètres sur 20, totalement immergées, sont consignées dans le tableau suivant :

DIMENSIONS des palettes.	SURFACE totale immergée.	RÉSISTANCE CONSTANTE Déduite du tracé des courbes.	RÉSISTANCE CONSTANTE Par mètre carré.
m m	mèt. car.	kil	kil
0,20 sur 0,20	0,1365	0,130	0,953
0,30 sur 0,35	0,4345	0,400	0,900
0,60 sur 0,20	0,4110	0,390	0,950
		Moyenne.	0,934

Conséquence des résultats du tableau précédent.

Il résulte de ce tableau que la résistance constante a pour valeur moyenne 934 grammes environ par mètre carré de surface immergée des palettes. Il ne serait pas prudent, néanmoins, de conclure de la comparaison précédente, que la valeur ainsi déterminée pour la résistance constante α conviendrait à des appareils légers mus dans l'eau à de très-petites vitesses, attendu que, dans les expériences, la recherche de ce terme était compliquée d'autres quantités constantes, telles que le frottement des axes. On a bien, il est vrai, tenu compte de cette résistance avec tout le soin possible, mais elle peut cependant avoir eu quelque influence sur les valeurs trouvées.

Toutefois, on ne saurait non plus induire de cette remarque, que le terme constant que l'on a trouvé provienne du frottement des axes; car cette dernière résistance, croissant avec les poids moteurs, varie implicitement avec la vitesse qu'ils produisent.

En résumé, l'on a pensé que l'existence du terme constant de la résistance était suffisamment établie, et qu'on pouvait adopter dans le cas actuel, pour sa valeur, $\alpha=0{,}934$; d'où il suit que a représentant, comme on l'a dit, la surface des palettes simultanément immergées, le reste représentera la portion

$$a\beta V^2,$$

ou la résistance proportionnelle au carré de la vitesse, ce qui permettra de déterminer le coefficient constant β de ce terme. Si les diverses valeurs, trouvées pour une même série, s'accordent entre elles, ainsi qu'avec celles des autres séries, on sera en droit de conclure que l'hypothèse précédemment admise représente exactement la loi de la résistance opposée par l'eau au mouvement des roues à palettes planes.

Expériences

Pour les expériences faites dans une eau tranquille, on a

recherché, ainsi qu'on l'a dit, si le second terme de la résistance était proportionnel au carré de la vitesse du milieu de la partie immergée; mais, pour celles qui ont été faites dans une eau courante, on a comparé les résultats à la formule

sur le mouvement de la roue dans une eau courante.

$$R = a[\alpha + \beta(V \pm v)V],$$

V étant la vitesse du milieu des palettes, et v étant la vitesse de l'eau. Le signe + étant relatif au cas où la palette marche en sens contraire de l'eau, et le signe — à celui où elle marche dans le même sens, cette formule coïncide avec celle qu'on a adoptée pour le cas où l'eau était stagnante, en y faisant $v = 0$.

La vitesse de l'eau vers le milieu des palettes a été déterminée à l'aide d'un moulinet de Voltemann, que l'on plaçait en avant de la roue, vis-à-vis et à hauteur du milieu de la palette, et en observant le nombre de tours faits dans une minute.

Le rapport de ce nombre de tours à la vitesse de l'eau a été établi par expérience directe de la manière suivante :

La section d'eau dans le canal ayant une hauteur moyenne de 472 millimètres sur $1^m,15$ de largeur, on a placé le moulinet à des hauteurs de 90, 180, 270 millimètres au-dessus du fond du canal, et, à chacune de ces hauteurs, on a observé en cinq endroits différents de la largeur, le nombre de tours des ailettes, d'où l'on a déduit le nombre de tours moyens faits en une minute, que l'on a trouvé égal à 101,3.

En même temps, on observait la hauteur d'eau et la levée de la vanne à l'orifice de prise d'eau de 918 millimètres de largeur placé à l'origine du canal, ce qui a permis de déterminer la dépense d'eau en une seconde avec exactitude, attendu que la contraction était complète sur les trois côtés de l'orifice en déversoir. Cette dépense étant de 367 mil-

lièmes de mètre cube en une seconde, et le profil de la section d'eau dans le canal, à l'endroit où les observations étaient faites, étant égal à 543 millièmes de mètres carré, la vitesse moyenne dans le canal était de

$$\frac{0,367}{0,543} = 0^{m},676;$$

et, par suite, le facteur par lequel il fallait multiplier dans l'eau courante le nombre de tours des ailettes était égal à

$$\frac{0,676 \times 60}{101,3} = 0,400.$$

On sait combien il est difficile de déterminer avec précision la vitesse de l'eau en un point donné d'une section d'un canal. Quoique le moyen adopté ait paru le plus exact de ceux que l'on connaisse, on ne doit pas se dissimuler qu'il laisse encore à désirer; toutefois, pour une même série, les nombres de tours des ailettes observés à chaque expérience étant toujours à très-peu près les mêmes et la dépense d'eau étant constante, la vitesse de l'eau admise pour le calcul est la même pour toutes ces expériences, et dès lors, l'accord qu'elles présentent légitime les conclusions que l'on en a déduites quant à la loi de la résistance. Les différences d'une série à l'autre n'apportent un peu d'incertitude que sur la valeur absolue des coefficients.

Formules employées à la discussion des résultats des expériences.

D'après ce qui précède, on voit que les valeurs de la résistance opposée par l'eau au mouvement de la roue à palettes, calculée pour la petite roue par la formule

$$R = \frac{0,177}{b} P,$$

et, pour la roue de $2^{m},612$ par l'une des formules

$$R = \frac{0,2344\,P - 0,304}{b + 0,001} - R',$$

ou

$$R = \frac{0,2346\,P - 0,090}{b + 0,0007} - R',$$

ont été comparées à l'expression hypothétique de cette résistance

$$R = a(\alpha + \beta V^2),$$

pour les expériences faites dans l'eau stagnante, et à l'expression

$$R = a[\alpha + \beta(V \pm v)V],$$

pour celles qui ont été faites dans l'eau courante.

D'après ces formules, *a* représente la somme des surfaces immergées de chacune des palettes qui plongent en même temps.

Le premier coefficient α, qui est constant, a déjà été trouvé égal à $\alpha = 0,934$. Quant au second, il est donné par les formules

$$\beta = \frac{R - \alpha a}{a V^2} \quad \text{ou} \quad \beta = \frac{R - \alpha a}{a(V \pm v)V}.$$

Mais, pour l'étude de la loi et la comparaison des valeurs de la résistance déduites du calcul avec le tracé des courbes, il a été plus commode de calculer d'abord

$$\beta a = \frac{R - \alpha a}{V^2} \quad \text{et} \quad \frac{R - \alpha a}{(V \pm v)V}.$$

Nous commencerons par la discussion des résultats obtenus dans l'eau stagnante (*). Expériences sur le mouvement de la roue dans l'eau stagnante.

En examinant les résultats des expériences relatives aux palettes immergées d'une quantité égale à leur hauteur ou assez grande par rapport à cette dimension, on reconnait

(*) L'étendue des tableaux des expériences ne permet pas de les insérer en entier; on en verra plus loin un résumé.

que la valeur du terme βa y est dans chaque série à peu près constante sur une grande étendue, ce qui indique que le second terme de la résistance est, comme on l'a supposé, proportionnel au carré de la vitesse.

La construction graphique des résultats conduit à la même conséquence et permet aussi de tirer la même conclusion et de déterminer la valeur du coefficient β.

Cas où la loi cesse d'être applicable.

Mais il y a des séries qui paraissent donner des résultats différents et indiquer que la résistance est, dans certains cas, loin de croître avec le carré de la vitesse; c'est ce que l'on aperçoit tout de suite par le tracé des courbes des résistances.

On reconnait que ces courbes qui, jusqu'à une distance notable de l'origine, paraissent affecter la forme d'une ligne droite, s'en écartent de plus en plus en s'élevant et deviennent convexes vers l'axe des abscisses. La courbe présente parfois une circonstance remarquable, c'est qu'elle devient parallèle à la ligne des ordonnées et correspond ainsi à une résistance maximum; au delà, la résistance éprouvée par la palette diminue sans cesse, quoique la vitesse continue à augmenter. La courbe s'infléchit alors de nouveau et se rapproche de plus en plus rapidement de l'axe des ordonnées, de manière à indiquer que la roue n'éprouve pour ainsi dire aucune résistance de la part de l'eau, et que son mouvement n'est rendu uniforme que par la résistance de l'air.

Causes de cette anomalie apparente.

Ces effets montrent donc que, dans certains cas et à de certaines vitesses, la résistance ne suit pas la loi que l'on a trouvée pour les autres.

Or, il est facile d'expliquer la cause de cette anomalie apparente, par la nature du phénomène que l'on étudie. En effet, dans le mouvement de la roue, le liquide déplacé par une palette est incessamment remplacé par l'eau qui afflue par les côtés et par-dessous, et il y a entre la

profondeur d'immersion et la vitesse de la roue une relation, d'où il résulte que ce renouvellement est plus ou moins complet. Dans les expériences où la profondeur d'immersion est faible, la roue, sous des efforts donnés, acquiert des vitesses très-grandes, et dès lors, une palette a pris la place de la précédente avant que l'eau ait complétement rempli le vide formé par celle-ci. On conçoit ainsi que cette nouvelle palette n'éprouve pas une résistance proportionnée à la surface d'immersion, qui correspondrait à la hauteur générale du niveau du bassin, ou, en d'autres termes, que la palette ne se trouve pas immergée de la même hauteur que quand le mouvement était plus lent. On voit donc qu'au delà d'une certaine vitesse, la profondeur réelle d'immersion diminue sans cesse à mesure que la vitesse augmente, d'où il résulte que la résistance devient de plus en plus faible.

Ce qui montre que c'est à cette cause seule que tient le changement éprouvé par la résistance, c'est que cette inflexion de la courbe commence toujours à se manifester lorsque la vitesse du milieu des palettes est à peu près égale à celle qui est due à la profondeur d'immersion. Limites où la loi cesse d'être observée.

La vitesse correspondant à cette profondeur sera donc la limite supérieure jusqu'à laquelle la loi pourra être admise, lorsque les palettes seront assez nombreuses et assez rapprochées pour que l'intervalle de temps qui s'écoule dans leur succession au même lieu, soit plus court que celui qui est nécessaire au remplissage du vide qu'elles engendrent.

Cet effet décroît avec le nombre de palettes, et la loi continue à rester la même à des vitesses plus grandes quand le nombre des palettes diminue.

Il y a plus; si les palettes sont en petit nombre et très-espacées, il arrive qu'aux faibles immersions le vide formé, étant d'un petit volume, il peut être rempli même quand la

roue va très-vite, et dès lors, la résistance continue à suivre la même loi à des vitesses bien supérieures à celle qui est due à la profondeur d'immersion.

Cette discussion indique comment le temps entre implicitement ici comme un élément indispensable pour que la résistance du milieu acquière son intensité totale. Il n'y a donc pas d'anomalie réelle dans la loi de cette résistance, mais une transition et un changement dans les circonstances du mouvement et de l'immersion.

Au surplus, les profondeurs d'immersions et les vitesses auxquelles ces effets se manifestent sont, les premières bien inférieures, et les secondes bien supérieures à celles que l'on emploie dans la pratique; car la loi que l'on vient d'établir subsiste pour des palettes convenablement écartées, jusqu'à des profondeurs d'immersion de 70 à 80 millimètres, et depuis les plus faibles vitesses jusqu'à celles de $2^{m},50$ et plus; tandis que, pour les roues des bateaux à vapeur, les plus grandes vitesses absolues dans les eaux stagnantes ou les plus grandes vitesses relatives dans les eaux courantes, n'atteignent pas cette limite.

Détermination de la résistance par mètre carré de palette immergée.

Après avoir reconnu que le second terme de la résistance croît comme le carré de la vitesse, il reste à déterminer son rapport à la surface immergée. Les résultats de cette comparaison extraits du tableau général sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau sommaire des résultats des expériences sur la résistance de l'eau au mouvement des roues à palettes planes.

DIMENSIONS des palettes	NOMBRE des palettes.	PROFONDEUR d'immersion.	VALEUR du coefficient β déduite du tracé.	SURFACE moyenne exposée à la résistance.	RAPPORT du coefficient β à la surface
La roue marchant dans une eau stagnante.					
		m		mèt. car.	
0m,10 sur 0m,10	20	0,101	1,76	0,02425	72,50
	10	0,101	1,36	0,0125	108,80
	5	0,101	0,54	0,0055	98,20
0m,20 sur 0m,20	20	0,200	7,75	0,1365	56,80
		0,135	4,88	0,0723	67,50
		0,105	3,67	0,0505	72,50
		0,073	2,22	0,0283	78,40
	10	0,200	6,75	0,0681	99,0
		0,185	5,44	0,0600	90,6
		0,155	4,43	0,0450	98,5
		0,125	2,82	0,0324	87,0
	5	0,095	2,37	0,0222	93,5
		0,200	3,75	0,0344	109,0
		0,170	2,78	0,0280	99,2
0m,30 sur 0m,35	20	0,350	20,30	0,4345	46,7
		0,255	11,57	0,2573	45,0
		0,150	5,87	0,1230	47,8
		0,100	2,83	0,0570	49,7
	10	0,350	19,74	0,2480	70,7
		0,250	10,83	0,1280	84,7
		0,150	4,00	0,0530	75,4
	5	0,350	11,00	0,1050	105,0
		0,250	5,50	0,0507	108,0

Tableau sommaire des résultats des expériences sur la résistance de l'eau au mouvement des roues à palettes planes. [Suite.]

DIMENSIONS des palettes.	NOMBRE des palettes.	PROFONDEUR d'immersion.	VALEUR du coefficient β déduite du tracé.	SURFACE moyenne exposée à la résistance.	RAPPORT du coefficient β à la surface.
		La roue marchant dans une eau stagnante.			
		m		mèt. car.	
$0^m,603$ sur $0^m,201$	20	0,201	20,30	0,4110	49,5
		0,151	14,00	0,2610	59,7
		0,101	10,39	0,1800	57,7
		0,051	3,06	0,0420	73,0
	10	0,201	21,34	0,1995	107,0
		0,151	10,98	0,1396	79,0
		0,101	8,34	0,0730	114,0
		0,051	2,20	0,0240	91,7
	5	0,201	14,60	0,1240	118,0
		0,151	7,64	0,0650	117,0
		0,101	4,49	0,0353	123,0
$0^m,700$ sur $0^m,506$	8	0,506	81,2	0,692	117,0
		0,404	44,3	0,405	114,0
		0,286	28,6	0,242	126,5
		Avec un bateau près de la roue.			
		0,406	43,95	0,391	112,5
		0,256	21,40	0,189	113,3

En examinant ces résultats, on voit que, pour les mêmes

ailettes en même nombre, le rapport du coefficient du carré de la vitesse à la surface immergée est sensiblement le même, ce qui indique que ce coefficient est proportionnel à la surface d'immersion ou que la résistance par mètre carré est constante.

On remarque ensuite que ce rapport augmente à mesure que le nombre des palettes diminue. On voit, en effet, que, pour les séries où il y avait vingt ailettes, il est toujours beaucoup plus petit que pour celles où il n'y en avait que dix, et que, pour celles-ci, il est moindre que quand il n'y avait que cinq ou quatre palettes.

Influence du nombre des palettes.

Il est facile de se rendre compte de ce résultat; on conçoit en effet que, si l'on augmentait indéfiniment le nombre des palettes, la résistance ne devrait pas augmenter en même temps, puisque la roue se rapprocherait ainsi de plus en plus de la forme d'un anneau plein circulant dans l'eau. Il doit y avoir entre l'écartement, la largeur et la hauteur des palettes, de même que pour la vitesse, un rapport correspondant au maximum de résistance par mètre carré de surface immergée.

Mais il paraît que cette influence du nombre des palettes n'est sensible que quand il est très-grand, ou que leur écartement à la circonférence extérieure n'excède pas notablement leur hauteur.

On voit, en effet, par la comparaison des chiffres du tableau précédent, que la résistance par mètre carré avec vingt palettes n'est que de 49,8 pour les ailettes de 30 centimètres sur 35, l'écartement à la circonférence extérieure étant de 265 millimètres, tandis qu'il est de 63,7 pour vingt ailettes de 20 centimètres sur 20, écartées de 22 centimètres à la circonférence extérieure, et de 84,4 pour celles de 10 centimètres sur 10 écartées de 180 millimètres à la circonférence extérieure.

Cet effet est aussi sensible pour les expériences faites sur

les ailettes de 30 centimètres sur 35 qui, au nombre de

$$20 \text{ donnent } \frac{\beta}{a} = 49{,}80,$$

$$10 \text{ donnent } \frac{\beta}{a} = 84{,}70,$$

$$5 \text{ donnent } \frac{\beta}{a} = 117{,}50.$$

Au surplus, cette influence du nombre des palettes qu'il était bon de constater n'a pas une grande importance pour les applications, parce qu'elle cesse à peu près d'être notable dès que les palettes ont, à la circonférence extérieure, un écartement qui atteint ou qui dépasse une fois et demie à deux fois leur hauteur, ce qui comprend tous les cas des applications aux bateaux à vapeur.

On voit, en effet, que, pour les séries de dix, cinq ou quatre ailettes, la résistance par mètre carré de surface est à peu près constante, car elle a pour valeur moyenne :

Pour 10	ailettes de	0^{m},10 sur 0^{m},10	....	104,55
5	*id.*	*id*	....	109,00
10	*id.*	0,20 sur 0,20	....	101,50
5	*id.*	*id*	....	109,25
5	*id.*	0,30 sur 0,35	....	117,50
10	*id.*	0,60 sur 0,20	....	104,70
5	*id.*	*id*	....	118,00

et qu'avec la grande roue on a, pour huit ailettes de

0^{m},70 de large sur 0^{m},506 immergées de	0^{m},506 et plus	117, 0
id.	0,404	114, 0
id.	0,286	126, 5
	Moyenne générale........	112,15

L'accord de toutes ces valeurs, dont la moyenne générale 112,15 diffère très-peu des moyennes particulières à chaque

série, prouve que, toutes les fois que l'écartement des ailettes sera renfermé dans les limites indiquées ci-dessus, comprenant tous les cas de la pratique des constructions de bateaux à vapeur, la résistance opposée par l'eau stagnante au mouvement des roues à palettes planes sera représentée par la formule

$$R = a(0,934 + 112,15 V^2).$$

Il était intéressant de reconnaître le degré d'influence que le voisinage d'un bateau pouvait exercer sur l'intensité de la résistance éprouvée par la roue. Observations sur l'influence de la présence des bateaux près des roues.

A cet effet, on a placé près de la roue et à 4 centimètres environ de distance, parallèlement au plan vertical extérieur des aubes, un bateau immergé d'une quantité égale à celle dont les aubes plongeaient dans le liquide, et l'on a fait deux séries d'expériences aux profondeurs d'immersion de 404 et de 286 millimètres.

Les résultats de ces recherches montrent que, par suite de l'obstacle apporté par la présence du bateau à l'affluence de l'eau dans le vide formé par les palettes, la résistance diminue, mais d'une quantité très-faible, surtout pour les grandes profondeurs d'immersion.

On trouve qu'à la profondeur de 406 millimètres, on a

$$\beta = 112,5 \text{ au lieu de } \beta = 114,0,$$

et qu'à celle de 256 millimètres on a

$$\beta = 113,3 \text{ au lieu de } \beta = 126,0.$$

On voit, en conséquence, que, lorsque les palettes sont totalement immergées ou qu'elles le sont d'une quantité considérable, telle que 40 centimètres et plus, la présence du bateau ne s'oppose pas d'une manière notable à l'af-

fluence de l'eau, et qu'on peut appliquer aux roues des bateaux à vapeur la formule pratique

$$R = a(0,934 + 112,15\,V^2).$$

Résultats des expériences sur la roue plongée dans l'eau courante.

Les expériences sur la résistance éprouvée par les roues à palettes planes dans l'eau courante n'ont pas pu être aussi nombreuses ni aussi complètes qu'on l'aurait désiré; néanmoins, elles semblent présenter avec les précédentes un accord assez satisfaisant pour qu'on puisse en conclure la confirmation de la loi admise, et l'appliquer à la navigation des bateaux à vapeur sur les fleuves.

Les résultats sommaires sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau sommaire des résultats des expériences sur la résistance de l'eau courante au mouvement des roues à palettes planes. (Faisant suite au tableau sommaire précédent.)

DIMENSIONS des palettes.	NOMBRE des palettes.	PROFONDEUR d'immersion.	VALEUR du coeffic. β déduite du tracé.	SURFACE moyenne exposée à la résistance.	RAPPORT du coefficient β à la surface.	VITESSE de l'eau.
La roue marchant dans le sens du courant.						
		m		mèt. car.		m : s
$0^m,10$ sur $0^m,10$	20	0,100	1,84	0,02425	75,6	0,850
		0,100	1,83	0,02425	75,5	0,261
0,20 sur 0,20	20	0,200	8,755	0,1365	64,2	0,220
0,531 sur 0,205	20	0,205	23,30	0,1365	64,0	0,834
La roue marchant en sens contraire du courant.						
m m						
0,10 sur 0,10	20	0,100	1,815	0,02425	74,9	0,874
0,20 sur 0,20	20	0,200	9,300	0,1365	68,2	0,276
		0,200	7,600	0,1365	55,7	0,834
0,531 sur 0,205	20	0,205	16,700	0,3640	46,0	0,383

L'examen de ce tableau prouve que quand la roue marchait dans le sens du courant, on a eu avec vingt ailettes : Conséquences des résultats contenus dans le tableau précédent.

De $0^m,10$ sur $0^m,10$, $\frac{\beta}{a} = 75,5$ pour les deux séries,

De 0,20 sur 0,20, $\frac{\beta}{a} = 56,3$,

De 0,531 sur 0,205, $\frac{\beta}{a} = 64,0$,

et, pour la roue marchant en sens contraire du courant, on a eu pour

20 ailettes de $0^m,10$ sur $0^m,10$, $\frac{\beta}{a} = 74,9$,

20 ailettes de 0,20 sur 0,20, $\frac{\beta}{a} = 68,0$ pour la première série et
$= 55,7$ pour la seconde,

20 ailettes de 0,531 sur 0,20, $\frac{\beta}{a} = 46,0$ pour la première série et
$= 38,3$ pour la seconde.

Ces valeurs, qui s'accordent sensiblement avec celles que l'on a obtenues pour le même coefficient, lorsque la roue marchait dans une eau stagnante, montrent que l'expression seule de la résistance change, mais que le coefficient reste le même.

On a expérimenté sur les ailettes de 10 centimètres sur 10, le même jour, dans le sens du courant et en sens contraire, et en déterminant la vitesse de l'eau de la même manière; de sorte que, si quelque erreur s'est produite, elle doit avoir à peu près la même influence dans chaque cas. On voit, en effet, que trois séries, dont deux avec la roue marchant dans le sens du courant et une en sens contraire, ont donné le même résultat $\beta = 75$ pour valeur moyenne.

Les séries faites dans d'autres séances présentent moins

d'accord; mais la différence porte seulement sur la valeur absolue du coefficient β. On voit, en effet, que pour chaque série les valeurs de βa sont constantes et suffisamment régulières pour prouver que le second terme de la résistance est effectivement proportionnel au produit $(V \pm v)\,V$. De plus, les valeurs de βa, trouvées pour les mêmes palettes en même nombre et à même profondeur d'immersion, sont à très-peu près identiques lorsque la roue marche, soit dans une eau stagnante, soit dans une eau courante. On trouve, en effet, les résultats suivants :

DIMENSIONS des palettes.	NOMBRE des palettes.	PROFONDEUR d'immersion.	LA ROUE MARCHANT DANS L'EAU		
			STAGNANTE.	COURANTE	
				Dans le sens du courant.	En sens contraire du cour.
m m		m			
0,10 sur 0,10..	20	0,10	84,4	75,5	74,9
0,20 sur 0,20..	20	0,20	63,7	56,3	62,0
0,60 sur 0,20..	20	0,20	53,0	"	"
0,531 sur 0,20..	20	0,20	"	64,0	42,3

On remarque néanmoins que, quand la roue marche en sens contraire du courant et que les aubes sont larges, le vide formé par son passage se remplit moins facilement que lorsqu'elle se meut dans le sens de l'eau.

Ainsi, quoique ces expériences sur la résistance des roues à palettes dans les eaux courantes, laissent encore à désirer sous le rapport de la détermination très-précise des valeurs de β, elles confirment suffisamment la loi énoncée; et, puisque pour le cas où la roue avait vingt palettes, la valeur de β est sensiblement la même dans les eaux stagnantes et courantes, on pourra encore calculer la résistance éprouvée

dans ce dernier cas, quelle que soit la profondeur d'immersion, par la formule

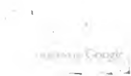
$$R = a[0,934 + 112,15 (V \pm v) V] \text{ kilogrammes.}$$

De sorte que cette dernière expression serait la formule générale de la résistance opposée par l'eau au mouvement des roues à palettes planes, quel que soit le sens du mouvement.

En résumé, ces expériences sur les roues à aubes planes montrent que la résistance opposée par l'eau au mouvement des palettes, est proportionnelle : Conclusion.

1°. A la surface de palette moyennement immergée ;

2°. A un facteur composé de deux termes, l'un constant, l'autre proportionnel au carré de la vitesse.


Digitized by Google

EXPÉRIENCES

SUR

LA RÉSISTANCE QUE L'EAU OPPOSE AU MOUVEMENT

DES CORPS PLANS, SPHÉRIQUES, CYLINDRIQUES OU CONIQUES.

(Extrait du sixième Rapport de la Commission des principes du tir (*) de l'École d'artillerie de Metz (1835-1838)).

Dans les expériences dont il s'agit, on a eu pour but de rechercher les lois de la résistance que l'eau oppose au mouvement des corps de diverses formes, en observant, au moyen d'un appareil chronométrique à style, la loi du mouvement de descente de ces corps abandonnés à l'action de la gravité. Objet particulier de ces expériences.

Ce mode d'observation étant aujourd'hui bien connu, on se bornera à rapporter les résultats auxquels il a conduit.

Deux bateaux d'équipage de ponts militaires, pontés ensemble et formant ce qu'on appelle une *portière*, avaient été amenés sur la Moselle et amarrés près de la poudrerie de Metz, vis-à-vis de la digue des Pucelles, au-dessous de la rampe de l'Esplanade. En cet endroit, la surface de l'eau n'a pas de vitesse sensible, parce qu'un remous y est produit par la digue sur la rive gauche, par le pont des Dispositions adoptées pour l'exécution des expériences.

(*) La Commission était composée des chefs d'escadron Peloux et Piobert et des capitaines Péronnier, Morin et Didion. M. Morin a été plus particulièrement chargé de l'exécution des expériences sur la chute des corps dans l'eau.

Pucelles en aval et par un angle assez saillant du mur de revêtement de la rampe.

La vitesse moyenne, quoique assez faible, n'était pas toutefois complétement nulle; ce qui n'était pas sans inconvénients pour la précision des expériences, surtout quand le corps avait une petite vitesse de descente et offrait une grande surface. Mais cet endroit était le seul, dans le voisinage et dans l'intérieur de la ville, où la profondeur de l'eau fût de 5 mètres au moins; ce qui était une condition indispensable.

Une baraque, établie sur la portière, renfermait l'appareil chronométrique; vis-à-vis du plateau mobile de cet instrument, était fixée une poulie sur la circonférence de laquelle s'enroulait le cordon suspendant le corps en expérience. Ce corps était toujours plongé dans l'eau; on le pesait directement dans le liquide pour n'avoir pas à déduire de son poids dans l'air celui du volume d'eau qu'il déplaçait.

Mode d'observation.

Le corps ainsi placé était ensuite abandonné à l'action de la pesanteur; la loi de son mouvement de descente était tracée par un style, sur le plateau de l'appareil chronométrique; elle était ensuite relevée par les méthodes connues et traduite en une courbe à coordonnées rectangulaires, dont les espaces parcourus étaient les abscisses et dont les temps correspondants étaient les ordonnées. L'examen de cette courbe montrait immédiatement que le corps, d'abord animé d'un mouvement accéléré, parvenait bientôt à un mouvement uniforme représenté par une ligne droite dont l'inclinaison donnait la vitesse du mouvement.

Les expériences étant répétées plusieurs fois avec le même corps, et chaque corps étant successivement lesté par des poids différents, on a construit d'autres courbes dont les abscisses étaient les résistances de l'eau, et les ordonnées les vitesses uniformes correspondantes. On a donc pu, par l'examen et la discussion de ces courbes, reconnaître quelle était la loi de la résistance en fonction de la vitesse.

Corps employés aux expériences.

Les corps soumis à ces essais sont :

1°. Des plateaux minces en fer, de diverses étendues (*);

2°. Des sphères pleines ou creuses, en fonte, de 104, 118, 129, 148 et 162 millimètres de diamètre;

3°. Des cylindres en fer-blanc, peints, de hauteurs égales à leurs diamètres, de 100, 200 et 300 millimètres;

4°. Des cônes terminant des cylindres de même diamètre et de même hauteur que les précédents et dont les génératrices ont eu des longueurs respectives de 55, 68, 114, 153, 202 millimètres pour des diamètres de 100, et une longueur de 137 millimètres pour un diamètre de 202 millimètres;

5°. Des cylindres de même dimension que les précédents et terminés antérieurement par des demi-sphères.

Influence des résistances passives de l'appareil.

Le diamètre de la poulie à laquelle le corps était suspendu, augmenté de deux demi-diamètres de la corde, était de 295 millimètres; ses tourillons n'avaient que 14 millimètres de diamètre, et elle pesait $3^{kil},220$. En observant que, dans la période où le mouvement était uniforme, la résistance de l'eau faisait équilibre au poids du corps, et que, par suite, le frottement sur les tourillons n'était dû qu'au poids propre de la poulie; en observant en outre que ces tourillons étaient incessamment lubrifiés d'huile par de petites mèches de coton, on reconnaît facilement que l'influence de ce frottement sur la résistance était tout à fait négligeable. On trouve, en effet, que ce frottement rapporté à la circonférence de la poulie n'équivalait qu'à un poids de $7^{gr},5$. On en a néanmoins tenu compte en retranchant cette quantité du poids

(*) On faisait monter du fond de la rivière par un contre-poids plus ou moins grand suivant la vitesse à obtenir, ces plateaux qui se mouvaient ainsi parallèlement à eux-mêmes; cela n'aurait pas eu lieu si on les eût laissés descendre, parce qu'alors il se serait produit des oscillations et des déviations latérales. Il n'en était pas de même pour les sphères et pour les cylindres terminés par des cônes, ni pour des cylindres à bases planes et animés de vitesse un peu grande; on a donc pu opérer avec ces corps, en les laissant descendre.

moteur, et l'on a obtenu le poids exact qui faisait équilibre à la résistance de l'eau.

Recherche de la loi de la résistance.

En recherchant la loi de la résistance d'après les inductions tirées d'autres expériences sur le mouvement des corps dans l'eau, on a été conduit à penser que, dans le cas actuel, la résistance pouvait être représentée par la fonction

$$R = A.\alpha + B.\beta V^2,$$

dans laquelle on désigne par R cette résistance, par A la surface, par α le coefficient du terme constant de la résistance de l'eau, ou sa résistance par mètre carré de surface mouillée, par B l'aire de la plus grande section faite dans le corps perpendiculairement au sens du mouvement, par β un coefficient constant et par V la vitesse du corps à l'instant où l'on considère son mouvement.

D'après cette notation, $A\alpha$ représente la résistance constante, indépendante de la vitesse, que la viscosité et l'adhérence du liquide opposent au mouvement et qui se produit sur la surface mouillée. Quand le mouvement est établi, les parties antérieures et latérales du corps frottent et glissent contre l'eau d'une autre manière que la partie postérieure que le liquide suit au lieu de la quitter. On a donc pensé que cette partie de la résistance ne se produisait d'une manière notable que sur les faces antérieures et latérales du corps. C'est pourquoi, dans les calculs suivants, on a pris pour l'aire A, savoir : dans les sphères, la surface de l'hémisphère antérieur; dans les cylindres, la surface du grand cercle antérieur plus celle du contour du cylindre; pour les cylindres terminés par des cônes, l'aire de la surface conique augmentée de la surface latérale du cylindre; enfin, pour les cylindres terminés par des sphères, l'hémisphère antérieur augmenté de la surface latérale du cylindre.

Construction des courbes

Mais, avant de comparer par le calcul les vitesses observées et les poids moteurs, on a construit des courbes

en prenant pour abscisses les poids moteurs, déduction faite du frottement de l'axe, et rapportés à la circonférence moyenne de la poulie, et pour ordonnées les vitesses uniformes observées; cette opération a permis d'obtenir, pour ces dernières vitesses, des valeurs soumises à la loi de continuité et dégagées des erreurs accidentelles.

donnant les vitesses uniformes moyennes.

Détermination du terme constant de la résistance.

Ces courbes, très-continues sur toute leur étendue, étant prolongées du côté de l'origine des coordonnées, venaient rencontrer l'axe des abscisses un peu en avant de l'origine; cela montrait que la résistance contenait un terme constant indépendant de la vitesse, et que la valeur de ce terme, toujours très-faible pour les corps soumis aux expériences, aurait pu être négligée, dès que les vitesses devenaient un peu grandes. Toutefois, cette série d'épreuves étant surtout relative aux petites vitesses, on a cherché à déterminer cette portion constante de la résistance, en adoptant pour la valeur du coefficient α, celle des expériences qui avaient été fournies par des expériences plus étendues relatives aux roues à ailettes.

D'après cela, en retranchant du poids du corps dans l'eau, ou du poids moteur diminué du frottement, le terme $A\alpha$ relatif à cette partie constante de la résistance, on a eu la valeur du terme $B\beta V^2$, fonction de la vitesse seulement; puis, en comparant cette valeur au carré de la vitesse, on a pu reconnaître que le rapport de ces quantités était sensiblement constant dans toute l'étendue des expériences. C'est ce que montre, pour toutes les séries de corps employés, la colonne des tableaux suivants, qui contient le rapport du second terme de la résistance au carré de la vitesse. En divisant ce rapport par l'aire B du profil du corps perpendiculaire à la direction du mouvement, on obtient un quotient d'une valeur constante, et l'on en conclut que la résistance est proportionnelle à l'aire du plus grand profil transversal.

Tableau des résultats des expériences sur la résistance que l'eau oppose au mouvement des corps de diverses formes.

FORME.	SECTION perpendiculaire au sens du mouvement.	SURFACE totale mouillée.	POIDS du corps dans l'eau	POIDS moteur, déduction faite de $0^{kil},007$ pour le frottement de l'axe.	RÉSISTANCE indépendante de la vitesse	RÉSISTANCE proportionnell. au carré de la vitesse.	VITESSES Observées.	VITESSES Déduites du tracé.	COEFFICIENT du carré de la vitesse.		RÉSISTANCE par mètre carré.
	mèt. car.		kil	kil	kil	kil	mèt. par sec.	m : sec			kil
Plateau carré de $0^m,329$ sur $0^m,327$.	0,1078	"	5,212 id.	5,761 10,761	0,101 id.	5,66 10,660	0,615–0,597–0,493 0,838–0,870	0,597 0,854	15,90 14,60	15,25	141,30
Plateau carré de $0^m,501$ sur $0^m,501$.	0,2510	"	12,090 id. id. id. id.	13,901 16,901 9,901 12,901 18,901	0,234 id. id. id. id.	3,669 6,669 9,669 12,669 18,669	0,293–0,314 0,430–0,379–0,370–0,429 0,553–0,589 0,610–0,619 0,702–0,635	0,300 0,430 0,540 0,610 0,702	40,6 36,0 33,2 34,0 38,0	36,26	145,00
Sphère; diam. $0^m,118$	0,01097	mèt. car. 0,02194	5,166	5,159	0,020	5,139	4,690–4,810–4,660	"	0,2305	0,2305	21,20
Sphère; diam. $0^m,129$	0,0131	0,0262	6,212	6,205	0,024	6,181	4,80–4,68–4,67	"	0,2770	0,2770	21,20
Sphère; diamètre $0^m,148$.	0,01723	0,03446	8,673 10,329	8,666 10,322	0,032 id.	8,634 10,290	4,80–4,94–4,73–4,71 5,27–5,14–5,10–4,98	" "	0,3750 0,3930	0,3840	22,40
Sphère; diam. $0^m,162$	0,0206	0,0412	12,736	12,729	0,038	12,681	5,35–5,03	"	0,4720	0,4720	22,90
Bombe; diamètre $0^m,330$.	0,0794	0,1588	10,750 11,750 12,750 18,750	10,743 11,743 12,743 18,743	0,148 id. id. id.	10,595 11,595 12,595 18,595	2,185–2,335 2,235–2,285 2,470–2,510 2,940–2,948	2,220 2,350 2,450 2,940	2,09 2,095 2,095 2,150	2,107	24,50

	mèt. car.	mèt. car.	kil	kil	kil	kil	mèt. par sec.	m : sec			kil
Cylindre; Diamètre 0^m,099; Hauteur 0^m,100.	0,007698	0,038490	0,778	0,771	0,036	0,735	0,991-0,974	1,000	0,735	0,719	93,50
			1,028	1,021	id.	0,985	1,145-1,168	1,168	0,721		
			1,278	1,271	id.	1,235	1,285-1,270	1,285	0,746		
			1,528	1,521	id.	1,485	1,450-1,430	1,445	0,710		
			1,778	1,771	id.	1,735	1,550-1,508	1,560	0,711		
			2,028	2,021	id.	1,985	1,670-1,640	1,668	0,713		
			2,278	2,271	id.	2,235	1,662-1,735	1,770	0,712		
			2,528	2,521	id.	2,485	1,875-1,855	1,865	0,712		
			3,028	3,021	id.	2,985	1,980-1,992	2,043	0,712		
Cylindre de 0^m,201 de diamètre et de 0^m,201 de hauteur.	0,031731	0,158655	0,528	0,521	0,148	0,373	0,476-0,500	0,450	2,04	2,959	92,97
			1,522	1,515	id.	1,367	0,802-0,875	0,750	2,44		
			2,522	2,515	id.	2,367	0,949-0,970	0,970	2,52		
			3,522	3,515	id.	3,367	1,160-1,170	1,130	2,63		
			4,522	4,515	id.	4,367	1,260-1,355	1,300	2,58		
			5,522	5,515	id.	5,367	1,440-1,405	1,420	2,66		
			6,522	6,515	id.	6,367	1,492	1,492	2,86		
Cylindre de 0^m,300 de diamètre et de 0^m,300 de hauteur.	0,0713	0,3565	2,522	2,515	0,333	2,182	0,500	0,550	7,07	6,615	92,80
			4,522	4,515	id.	4,182	0,756	0,790	6,69		
			8,874	8,867	id.	8,534	1,290-1,085-1,190	1,135	6,60		
			14,154	14,147	id.	13,814	1,640-1,663	1,500	6,13		
Cylindre de 0^m,0995 de diamètre et de 0^m,100 de hauteur terminé par un cône dont l'arête a 0^m,055 de longueur.	0,00774	0,03956	0,522	0,515	0,037	0,478	0,997-0,964	0,950	0,531	0,569	73,26
			1,022	1,015	id.	0,978	1,150	1,320	0,560		
			1,522	1,515	id.	1,478	1,258-1,243	1,630	0,550		
			2,022	2,015	id.	1,978	1,913-1,833	1,870	0,564		
			2,522	2,515	id.	2,478	2,060-2,120	2,10	0,561		
			3,022	3,015	id.	2,978	2,160-2,260	2,26	0,577		

Tabl. des résultats des expériences sur la résistance que l'eau oppose au mouv. des corps de diverses formes. [Suite.]

FORME.	SECTION perpendiculaire au sens du mouvement.	SURFACE totale mouillée.	POIDS du corps dans l'eau.	POIDS moteur, déduction faite de 0kil,007 pour le frottement de l'axe.	RÉSISTANCE indépendante de la vitesse	RÉSISTANCE proportionnell. au carré de la vitesse.	VITESSES Observées.	VITESSES Déduites du tracé.	COEFFICIENT du carré de la vitesse		RÉSISTANCE par mètre carré.
	met. car.	met. car.	kil	kil	kil	kil	met. par sec.	m : sec			kil
Cylindre de 0m,100 de diamètre et de 0m,100 de hauteur terminé par un cône dont l'arête a 0m,068 de longueur.	0,007854	0,0411	1,022	1,015	0,038	0,977	1,522—1,503	1,550	0,405	0,424	53,99
			1,522	1,515	id.	1,477	1,890—1,935	1,900	0,408		
			2,022	2,015	id.	1,977	2,185—2,120	2,150	0,427		
			2,522	2,515	id.	2,477	2,395—2,380	2,395	0,430		
			3,022	3,015	id.	2,977	2,630—2,565	2,630	0,430		
			3,522	3,515	id.	3,477	2,838—2,720	2,800	0,442		
Cylindre de 0m,100 de diamètre et de 0m,100 de hauteur terminé par un cône dont l'arête a 0m,114 de longueur.	0,007854	0,04932	0,522	0,515	0,046	0,469	1,190—1,152	1,150	0,352	0,375	47,74
			1,022	1,015	id.	0,969	1,192—1,700	1,700	0,334		
			1,522	1,515	id.	1,469	1,758—2,080	2,020	0,363		
			2,022	2,015	id.	1,969	1,980—2,245	2,300	0,371		
			2,522	2,515	id.	2,469	2,240—2,368	2,520	0,388		
			3,022	3,015	id.	2,969	2,405—2,820	2,700	0,406		
			3,522	3,515	id.	3,469	2,800—3,040	2,700	0,406		
			4,022	4,015	id.	3,969	3,020	2,900	0,411		
Cylindre de 0m,100 de diamètre et de 0m,100 de hauteur terminé par un cône dont l'arête a 0m,153 de longueur.	0,007854	0,05545	0,522	0,515	0,052	0,463	1,262—1,379	1,250	0,294	0,348	44,29
			1,022	1,015	id.	0,963	1,740—1,712	1,700	0,332		
			1,522	1,515	id.	1,463	2,075—2,120	2,070	0,364		
			2,022	2,015	id.	1,963	2,340—2,320	2,300	0,370		
			2,522	2,515	id.	2,463	2,645—2,600	2,620	0,358		
			3,022	3,015	id.	2,963	2,920—2,815	2,920	0,347		
			3,522	3,515	id.	3,463	3,040	3,050	0,371		

	met. car.	met. car	kil	kil	kil	kil	met. par sec.	m : sec			kil
Cylindre			0,522	0,515	0,059	0,456	1,218—1,235	1,220	0,312		
de			0,772	0,765	id.	0,706	1,542—1,512	1,510	0,309		
0m,100 de diamètre			1,022	1,015	id.	0,956	1,770—1,755	1,755	0,310		
et de			1,272	1,265	id.	1,206	1,945—1,945	1,945	0,318		
0m,100 de hauteur	0,007854	0,06315	1,522	1,515	id.	1,456	2,140—2,180	2,140	0,318	0,320	40,69
terminé			1,772	1,765	id.	1,706	2,240—2,200	2,240	0,338		
par un cône			2,022	2,015	id.	1,956	2,425—2,405	2,425	0,332		
dont l'arête a 0m,202			2,272	2,265	id.	2,206	2,500	2,600	0,325		
de longueur.			2,522	2,515	id.	2,456	2,600—2,680—2,440	2,750	0,325		
			2,722	2,715	id.	2,656	2,520—2,880	2,820	0,334		
			3,022	3,015	id.	2,956	3,170—2,960	3,170	0,295		
Cylindre de 0m,201			1,522	1,515	0,070	1,445	1,130—0,988—1,030	0,988	1,480		
de diam. et de 0m,200			2,588	2,581	id.	2,511	1,250—1,250	1,200	1,735		
de haut. terminé par	0,03173	0,07499	3,588	3,581	id.	3,511	1,458—1,382—1,318	1,450	1,665	1,675	53,13
un cône dont l'arête			4,588	4,581	id.	4,511	1,625—1,540—1,663	1,625	1,705		
a 0m,137 de longueur.			5,588	5,581	id.	5,511	1,670—1,622	1,750	1,795		
Cylindre de 0m,100			0,522	0,515	0,044	0,471	1,180—0,980	1,13	0,367		
de diamètre et de			0,772	0,765	id.	0,721	1,460—1,460	1,46	0,337		
0m,100 de hauteur			1,022	1,015	id.	0,971	1,743—1,695	1,70	0,335		
terminé	0,007854	0,047124	1,278	1,271	id.	1,227	1,890—1,902	1,90	0,340	0,338	43,03
par			1,522	1,515	id.	1,471	2,085—2,100	2,10	0,317		
une demi-sphère.			1,772	1,765	id.	1,721	2,240—2,240	2,24	0,330		
Cylindre de 0m,300											
de diamètre			4,994	4,987	0,396	4,591	1,385	2,380	0,336		
et de 0m,300 de hau-	0,0708	0,4248	4,994	4,987	id.	4,591	1,360	2,480	0,350	0,384	38,40
teur terminé			7,494	9,487	id.	9,091	1,662	3,290	0,465		
par une demi-sphère.											

Résultats des expériences et du calcul

Si tous les résultats des expériences, contenus dans le tableau précédent, ne présentent pas entre eux un accord aussi grand qu'on l'aurait désiré, et égal à la précision que des moyens analogues d'observation ont permis d'obtenir pour la résistance de l'air, bien plus délicate à mesurer, cela tient à ce que l'on n'a pas pu trouver une localité où l'eau fût parfaitement stagnante et sans aucune vitesse de fond. Mais les écarts des diverses valeurs trouvées sont assez faibles pour qu'on puisse établir la loi cherchée et déterminer des valeurs au moins très-approximatives des coefficients de la résistance.

En récapitulant les résultats contenus dans le tableau précédent, on voit que la résistance que l'eau oppose au mouvement des corps de diverses formes complétement immergés, peut être représentée par la formule

$$R = A\alpha + B\beta V^2,$$

dans laquelle A est la surface du corps exposé au frottement de l'eau; α un coefficient constant moyennement égal à 934 grammes par mètre carré; B l'aire du plus grand profil fait dans le corps perpendiculairement au sens du mouvement; β un coefficient constant pour chaque corps, mais dépendant de sa forme, et dont les valeurs sont, savoir :

Pour des plateaux minces		kil 143,15
Pour des sphères		22,05
Pour des cylindres droits d'une hauteur égale au diamètre de leur base		93,07
Pour des cylindres de même proportion que les précédents et terminés à chaque bout par des cônes droits dont les hauteurs sont aux rayons de leur base dans le rapport de	0,472	73,26
	0,930	53,99
	2,050	47,74
	2,935	44,29
	3,915	40,69
Pour des cylindres de même proportion que les précédents et terminés par des demi-sphères		40,71

Les plans minces offrent une résistance beaucoup plus grande que les bases planes d'un cylindre d'une longueur égale au diamètre; cela provient de ce que l'espace abandonné par le corps se remplit plus facilement dans le second cas que dans le premier : en effet, la longueur du cylindre a déjà permis au fluide, écarté par suite du mouvement de la surface antérieure, de se rapprocher du corps lorsque sa face postérieure passe. Résistance des plans minces.

On voit aussi que, de tous les corps soumis aux expériences, la sphère est celui qui offre le moins de résistance, ce qui est un grand avantage pour l'emploi des corps sphériques comme projectiles; la constance des valeurs trouvées pour le coefficient β montre que cette résistance est, comme celle des milieux solides, proportionnelle à la surface du grand cercle du projectile. Les sphères offrent moins de résistance que tous les autres corps soumis aux expériences.

Enfin, la portion de la surface de la sphère exposée au frottement de l'eau étant celle de l'hémisphère antérieur ou $\frac{\pi d^2}{2}$, en nommant d le diamètre, et celle du grand cercle étant $\frac{\pi d^2}{4}$, la résistance R de la sphère est, en kilogrammes,

$$R = \frac{\pi d^2}{4}(2 \times 0,934 + 22,05 V^2).$$

Ce qui montre qu'à la vitesse d'un mètre par seconde seulement, la partie constante de la résistance est inférieure à un douzième de celle qui dépend de la vitesse, et que, pour toutes les vitesses un peu considérables, on pourra, sans erreur notable, négliger le premier terme de cette résistance.

Les expériences, faites sur les cylindres terminés par des cônes, montrent que le coefficient du carré de la vitesse diminue avec l'angle des arêtes du cône et de l'axe. Influence de l'acuité des angles au sommet du cône.

Les demi-angles au sommet des cônes, mis en expé-

riences et exprimés en parties de la demi-circonférence, sont déterminés ainsi qu'il suit :

Rapport de la hauteur des cônes au rayon de leur base.	0,000	0,472	0,930	2,050	2,935	3,915
Demi-angles au sommet...	90°	64° 46′	46° 50′	26° 1′	18° 49′	14° 20′
Rapport des angles à deux angles droits.....	0,500	0,362	0,262	0,145	0,105	0,080

En construisant une courbe avec ces demi-angles pour abscisses et les valeurs de β pour ordonnées, on voit que dans toute l'étendue des expériences, cette courbe se confond sensiblement avec une ligne droite, qui viendrait rencontrer l'axe des ordonnées à un point correspondant à 31 kilogrammes de résistance, pour un angle nul au sommet, et qui fournit l'expression suivante du coefficient du carré de la vitesse,

$$\beta = 31 + 120,83\,\alpha.$$

Si l'on compare les valeurs fournies par cette formule d'interpolation avec celles qui ont été déduites de l'expérience, on trouve les résultats suivants :

Demi-angles au sommet (en fraction de deux angles droits)............		0,500	0,362	0,262	0,145	0,105	0,080
Valeur de β déduite	de la formule (kil.)...	91,40	74,70	62,70	48,50	43,78	40,67
	de l'expérience (kil.)..	93,07	73,26	53,99	47,74	44,29	40,69

A l'exception de la série où le rapport du demi-angle à deux droits était égal à 0,262, tous les résultats sont représentés avec une exactitude bien suffisante pour les applications.

La direction de la ligne droite rencontrant l'ordonnée correspondant à l'angle droit sous un grand angle, fait voir que le maximum de résistance est loin de répondre au cas où le demi-angle est un angle droit, et que la résistance doit être plus grande pour les angles rentrants. Ce résultat est

tout à fait d'accord avec ceux que l'on a obtenus dans les recherches sur la résistance de l'air.

Ces expériences montrent d'ailleurs qu'il y a un avantage notable à terminer par des surfaces obliques les corps prismatiques ou cylindriques exposés à l'action de la résistance de l'eau.

Avantages de la forme hémisphérique de la partie antérieure.

Elles offrent aussi ce résultat remarquable, que la forme hémisphérique de la partie antérieure des cylindres est aussi favorable que celle des cônes les plus aigus, ce qui s'accorde d'ailleurs avec l'observation faite relativement aux sphères. Sans que l'on ait la prétention d'étendre les conséquences de ce fait au delà des limites où il a été observé, on peut au moins en déduire que la forme des piles de pont terminées en arc de cercle est une des dispositions qui conviennent le mieux pour diminuer la pression que l'eau exerce sur ces piles.

Comparaison de la formule proposée avec l'expression ordinaire de la résistance.

Si l'on compare les résultats des expériences, en ce qui concerne le second terme de la résistance, à la formule ordinaire où l'on introduit la hauteur due à la vitesse et qui est de la forme

$$\frac{KB\delta V^2}{2g} = KB\delta H,$$

δ étant la densité du milieu ou le poids du mètre cube égal ici à 1000 kilogrammes, et $H = \frac{V^2}{2g}$ la hauteur due à la vitesse, on voit que le coefficient constant est lié avec β par la relation $K = \frac{\beta 2g}{\delta}$; ce qui donne pour K les valeurs suivantes :

Pour des plateaux minces. 2,810
Pour des sphères. 0,432
Pour des cylindres droits d'une hauteur égale au diamètre de leur base. 1,825

Pour des cylindres de même proportion que les précédents et terminés à chaque bout par des cônes droits dont les hauteurs sont, avec les rayons des bases, dans le rapport de..........................	0,472 ...	1,438
	0,930 ...	1,060
	2,050 ...	0,935
	2,935 ...	0,870
	3,915 ...	0,798
Pour des cylindres de même proportion que les précédents et terminés par des demi-sphères.		0,799

Résistance que l'eau oppose au mouvement des sphères animées de grandes vitesses.

Expériences sur la pénétration des projectiles dans l'eau.

Les recherches faites à Metz, en 1835, sur la pénétration des projectiles dans l'eau, confirment, pour les très-grandes vitesses, les lois de la résistance sur des corps animés de faibles vitesses.

Dans ces recherches, l'eau du bassin de la Moselle, situé près du pont Tiffroy, était retenue, au moment du tir des projectiles, par une vanne verticale en bois de faible épaisseur. Les projectiles de divers calibres ont été tirés contre cette vanne, à la distance d'environ 25 mètres, avec les bouches à feu en usage et avec des charges de poudre que l'on a fait varier dans des limites étendues.

On mesurait la pénétration des projectiles dans l'eau, en vidant, après le tir d'un certain nombre de coups, le bassin dans lequel ces mobiles avaient été projetés.

Le tableau qui suit contient les résultats de ces expériences :

Expériences sur la pénétration des projectiles dans l'eau.

CALIBRES.	POIDS des projectiles.	POIDS des charges de poudre.	PORTÉES moyennes observées.	OBSERVATIONS.
		kil	m	
Boulets de 12.	kil 6,000	3,000	15,50	
		2,000	15,30	
		1,500	15,00	
		1,000	14,50	
		0,750	14,00	
		0,500	13,50	
		0,250	12,25	
		0,125	11,50	
		0,063	10,80	
Obus de 12....	4,451	0,500	10,50	
		0,250	9,30	
		0,125	8,14	
	3,630	0,500	8,75	
		0,250	7,73	
		0,125	7,02	
	3,029	0,500	"	Les obus sont brisés dans l'eau.
		0,250	6,72	
		0,125	6,13	
Boulets de 24..	12,000	0,500	16,50	
		0,250	15,25	
		0,125	13,90	
Obus de 24...	9,053	0,500	14,00	
		0,250	11,70	
		0,125	10,95	
	7,764	0,500	12,70	
		0,250	11,50	
		0,125	10,35	
	6,229	0,500	10,00	
		0,250	8,90	
		0,125	8,58	
Boulets pleins de 16 centimèt.	16,000	0,750	17,70	
		0,500	16,35	
		0,250	14,65	
		0,125	12,50	

Expériences sur la pénétration des projectiles dans l'eau. [Suite.]

CALIBRES.	POIDS des projectiles.	POIDS des charges de poudre.	PORTÉES moyennes observées
	kil	kil	m
Obus de 16 centimètres	11,59	0,750	13,80
		0,500	12,80
		0,250	11,20
		0,125	10,02
	7,956	0,500	9,25
		0,250	8,45
	7,674	0,500	"
		0,250	7,00
Boulets pleins de 22 centimètr.	39,000	1,000	24,05
		0,500	18,50
		0,250	15,40
Obus de 22 centimètres	22,000	1,000	14,10
		0,250	12,60

Détermination du coefficient de la résistance de l'eau contre les projectiles.

Au moyen des profondeurs de pénétration des projectiles dans l'eau et de leurs vitesses initiales, on a déterminé la résistance que les projectiles éprouvent dans leur mouvement.

Les projectiles ont subi des déviations notables; mais, vu la faible étendue des trajets dans l'eau, on a pu, pour en déduire la résistance du fluide, les assimiler à la profondeur totale de la pénétration dans les milieux pénétrables, et en déduire avec facilité la résistance du fluide; on peut négliger les résistances indépendantes de la vitesse qui, ici, ne sont qu'une fraction extrêmement faible de la résistance totale, et regarder la résistance comme simplement proportionnelle à l'aire d'un grand cercle de la sphère et proportionnelle au carré de la vitesse.

En nommant D le diamètre du projectile, P son poids,

V sa vitesse initiale, et v sa vitesse après qu'il a parcouru une longueur e, g étant la pesanteur, π le rapport de la circonférence au diamètre, et β le coefficient de la résistance qui doit multiplier le carré de la vitesse, l'application du principe des forces vives donne, entre v et e, la relation suivante :

$$e = \frac{P}{\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 g \beta} (\log V - \log v).$$

Cette formule n'est pas applicable aux cas de vitesses plus petites que celle de 1 mètre par seconde; en s'arrêtant à cette limite et en représentant par E la pénétration à l'instant où le projectile conserve 1 mètre de vitesse, on aura

$$E = \frac{P}{\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 g \beta} \log V.$$

Ici les logarithmes sont des logarithmes népériens, et en passant aux logarithmes ordinaires des Tables, on aura.

$$E = \frac{9,2104 . P}{\pi D^2 . g . \beta} \log V.$$

Les expériences rapportées ci-dessus ayant fourni les valeurs de E, et d'autres expériences ayant donné les vitesses initiales correspondant aux différentes charges de la même poudre, on a pu déterminer, pour chaque cas, la vitesse du projectile à son entrée dans l'eau; et par conséquent obtenir, pour chaque expérience, une valeur de β qui est

$$\beta = \frac{9,2104 . P}{\pi D^2 . g . e} \log V.$$

Les diverses valeurs que l'on a trouvées pour β présentent en général assez d'accord entre elles, et l'on en a déduit une moyenne générale égale à 23,30, de façon que la loi

de pénétration totale des projectiles dans l'eau, ou du moins jusqu'à ce que leur vitesse devienne à peu près nulle, est

$$E = \frac{9,2104 . P}{\pi D^2 . g . 23,30} \log V.$$

Il est à remarquer que cette valeur de $\beta = 23,30$, comparée à celle qui a été déduite des expériences sur le mouvement des sphères dans l'eau, aux faibles vitesses, qui a été $\beta = 22,05$ pour les sphères, présente un accord très-remarquable, quoique les vitesses aient varié dans des limites très-étendues.

Les dimensions des projectiles ayant varié depuis 12 jusqu'à 22 centimètres, on peut étendre à tous les projectiles en usage la loi qui résulte de l'ensemble de ces expériences.

EXPÉRIENCES

SUR

LA RÉSISTANCE QUE L'AIR OPPOSE AU MOUVEMENT DES CORPS PLANS, CONCAVES ET CONVEXES.

[Extrait du sixième Rapport de la Commission des principes du tir (*) de l'École d'artillerie de Metz (1835–1838)].

Des recherches sur la résistance que l'air oppose au mouvement des corps ont été entreprises pour compléter celles que la Commission des principes du tir avait faites en 1835. (*Voir* le n° V du *Mémorial*, page 553.) Dans ces expériences, on avait observé, avec des instruments chronométriques, les durées partielles et la loi du mouvement vertical de plateaux en bois mince et de globes en verre de superficies moindres, pour en conclure les lois de la résistance que l'air oppose à des surfaces planes et sphériques qui se meuvent en ligne droite; mais les poids des corps soumis à ces essais et le peu d'étendue de la chute, qui n'était que de $8^{m},50$ à 9 mètres jusqu'à l'ouverture de la fosse, et d'environ 13 mètres jusqu'au fond, n'avaient pas permis de calculer l'intensité de la résistance avec toute la précision désirable. But des expériences.

(*) La Commission était composée des chefs d'escadron Pelouz et Piobert, des capitaines Péronnier, Morin et Didion. M. Didion a été plus particulièrement chargé de l'exécution des expériences sur la chute des corps dans l'air.

La hauteur de chute dont on pouvait disposer n'étant pas suffisante pour faire acquérir au corps des vitesses uniformes un peu considérables, et pour lesquelles le calcul de la résistance fût devenu facile, on ne pouvait obtenir des vitesses un peu grandes que dans le mouvement varié.

Perfectionnements apportés dans les instruments et dans les procédés.

Les appareils chronométriques et les procédés dont on a fait usage ont été décrits dans le Mémoire précité; on ne parlera ici que des modifications qui y ont été apportées postérieurement.

Pour éviter le retrait des feuilles de papier sur lesquelles devait être tracée la loi du mouvement, on les colla par le bord sur une feuille de zinc, maintenue, pendant l'expérience, sur le plateau en cuivre de l'appareil par un écrou placé au centre et par un anneau en cuivre vissé sur le contour.

Chacune des expériences a été répétée un assez grand nombre de fois, pour qu'on soit parvenu à atténuer presque entièrement les erreurs particulières provenant soit de la position du pinceau, soit de la vitesse de rotation du plateau déduite de la durée de cent tours, estimée avec un chronomètre à pointage de Breguet, donnant les dixièmes de seconde.

Les plateaux sur lesquels on a opéré étaient formés par un cadre en bois léger; sur chaque face, on avait cloué une toile et collé du papier; il eût été difficile de rendre ces plateaux plus légers, sans leur enlever la rigidité indispensable. Les parachutes avaient la forme ordinaire de ces objets; ils étaient en taffetas tendu sur une carcasse en baleine.

La poulie que l'on a employée était de dimensions et de poids moindres que celle dont on s'était servi en 1835.

Le corps soumis à l'expérience était suspendu à l'extrémité d'un cordon de soie enroulé sur la gorge de la poulie; le poids de ce corps était augmenté au moyen de masses

additionnelles, lorsqu'on voulait obtenir de grandes vitesses; au contraire, pour obtenir de faibles vitesses, on suspendait un contre-poids à l'autre extrémité du cordon, qui passait alors sur une poulie de renvoi.

Les corps dans leur chute se mouvaient toujours parallèlement à eux-mêmes. Un pinceau, placé à l'extrémité d'un porte-pinceau fixé à la poulie, et dans lequel il pouvait prendre un léger mouvement parallèle à l'axe de cette poulie, traçait sur le papier du plateau de l'appareil chronométrique la courbe du mouvement; le pinceau était arrêté, avant le départ du corps, à peu près à hauteur de l'axe de la poulie, mais tantôt à droite et tantôt à gauche de l'observateur, afin que les erreurs qui auraient pu provenir d'une position unique pussent être atténuées et compensées.

Le plateau de l'appareil chronométrique marchait comme précédemment avec une vitesse d'environ deux tours par seconde. L'axe de la poulie de renvoi était horizontal, parallèle à celui de la poulie principale et situé à $1^m,90$ sur le côté opposé au corps, et à $2^m,05$ plus haut; les cordons pendaient dans un plan vertical perpendiculaire aux axes des poulies et se prolongeaient jusqu'au fond de la fosse, située à $14^m,30$ au-dessous de l'axe de la seconde poulie. La durée de la chute a été relevée de cinquième en cinquième de tour de poulie ou de 18 en 18 centimètres environ de chemin parcouru; mais, dans le premier tour, on relevait de dixième en dixième de tour, et, quelquefois, de centième en centième dans le premier cinquième de tour. Dans la loi du mouvement fournie par l'instrument, les temps étaient exprimés en millièmes de tour de plateau, dont la durée était mesurée pour chaque expérience à un millième de seconde près, et les espaces étaient exprimés en dixièmes et centièmes de circonférence de poulie.

On s'est proposé, dans ces expériences, de rechercher la

loi des résistances pour les plus grandes vitesses, c'est-à-dire vers la fin de la chute, et pour les plus faibles vers le commencement; de composer ensuite la loi générale du mouvement, et de comparer les résultats des formules avec ceux de l'observation.

Mais on doit d'abord étudier les résistances passives de l'appareil en mouvement, afin de les déduire de celles que présentent ensemble l'appareil et le corps, dans chaque expérience particulière.

Résistances passives de l'appareil.

Les résistances que présente l'appareil en mouvement sont de deux sortes : les unes sont des frottements d'axes, les autres proviennent de l'air; les premières peuvent être calculées directement, les secondes doivent être déduites de l'observation.

En appelant

P, le poids du corps descendant, y compris celui du cordon;

p, le poids du corps ascendant, y compris celui du cordon;

x, le chemin parcouru par le corps à un instant quelconque;

t, le temps employé pour parcourir cet espace;

q, le poids de la poulie y compris celui du cordon, qui l'enveloppe;

r, le rayon de la circonférence suivant laquelle s'enroule le milieu du cordon, et égal au rayon de la surface cylindrique de la gorge de la poulie augmenté de la demi-épaisseur du cordon;

s, le rayon du tourillon de la poulie;

v, la vitesse du corps descendant;

f, le rapport du frottement à la pression des tourillons sur les crapaudines;

g, l'intensité de la pesanteur;

k, une quantité relative au moment d'inertie de la pou-

lie telle que $\frac{qk^2}{g}$ soit son moment d'inertie autour de l'axe;

R, la résistance de l'air sur le corps et sur l'appareil, à un instant quelconque, et rapportée à la circonférence de la poulie : on trouvera, par le calcul, qu'en faisant

$$B = \frac{P - p - \frac{fs}{r}(P + p + q)}{1 - \frac{fs}{r}} \quad \text{et} \quad C = \frac{P + p + q\frac{k^2}{r^2} - (P - p)\frac{fs}{r}}{1 - \frac{fs}{r}},$$

l'expression de la résistance due aux frottements est simplement

$$R = B - \frac{C}{g}\frac{dv}{dt}.$$

On a une expression analogue, lorsqu'on emploie une poulie de renvoi.

On a déduit des oscillations de la poulie la valeur de $k = 0^m,11407$.

Pour mesurer l'intensité des résistances que présente l'air au mouvement de l'appareil, on a suspendu des corps qui, n'éprouvant de la part de ce fluide qu'une résistance insensible, fussent capables d'imprimer à la poulie une vitesse égale à celle qu'on obtenait dans les expériences; et, pour être assuré que l'influence des frottements était estimée avec exactitude, on a suspendu un poids et un contre-poids peu différents entre eux.

Si la résistance de l'air était insensible et négligeable, ou si elle était constante et indépendante de la vitesse, le mouvement des corps devait être uniformément accéléré, et, par conséquent, les espaces parcourus devaient être proportionnels au carré des temps; ou, ce qui présentait plus de simplicité, le nombre de tours de plateau devait

être proportionnel à la racine carrée des nombres de tours de poulie.

On a fait des expériences avec quatre poids différents, répétées chacune quatre ou huit fois.

Les points dont les abscisses sont les durées observées, et les ordonnées les racines carrées des espaces, ont été tracés à une grande échelle; ils se sont trouvés, dans chaque expérience, sur une ligne droite, à des écarts près de quelques millièmes de seconde, tantôt en plus et tantôt en moins. Il résulte de là : 1° que le mouvement était uniformément accéléré; 2° que les procédés qu'on employait étaient susceptibles de diviser le temps en fractions très-petites et avec une grande exactitude.

La ligne droite ainsi tracée ne passait jamais par l'origine commune des espaces et des temps; elle coupait la ligne sur laquelle on comptait les temps en deçà de l'origine, ou autrement, du côté opposé à celui des temps écoulés. La distance de cette intersection à l'origine des coordonnées donne la durée constante qu'il faut ajouter aux durées résultant du relevé direct de la courbe, pour que la proportionnalité en question existe dans toute la durée de la chute.

Ce résultat, déjà signalé dans les expériences de 1835, provient de ce que le pinceau, tenu par un arrêt, devait, comme le corps, parcourir un certain espace avant de pouvoir se rapprocher du plateau; et qu'à partir du moment où il abandonnait cet arrêt, il fallait encore quelques instants pour que le ressort fît parcourir au pinceau l'espace qui le séparait du papier et que celui-ci y laissât une trace de son mouvement. La correction de la durée devait donc varier avec la vitesse du corps; aussi n'a-t-elle pas été constante pour tous les corps; mais, dans une série d'expériences différentes et construites à la même échelle, les diverses lignes qui représentaient la loi de leur mouve-

ment, se coupaient en un même point. Ce point correspondait à un espace de 1 millimètre parcouru par le corps, ou de $0^{mm},4$ parcouru par le pinceau avant d'être dégagé, et à une durée de $0^{s},01$; cette durée indiquait le temps qu'il fallait au pinceau pour atteindre le plateau.

La tangente trigonométrique de l'angle que fait la droite avec la ligne des temps est égale au double de la force accélératrice et donne la résistance que l'air exerçait sur l'appareil. En effet, en appelant R_1 cette résistance supposée constante, on aura

$$R_1 = B - \frac{C}{g}\frac{dv}{dt};$$

d'où

$$\frac{dv}{dt} = g\,\frac{B - R_1}{C} \quad \text{et} \quad v = g\,\frac{B - R_1}{C}\,t + \text{const.}$$

Mais, comme on a à la fois $v = 0$ et $t = 0$, on aura

$$v = g\,\frac{B - R_1}{C}\,t,$$

et, par suite,

$$x = \tfrac{1}{2} g\,\frac{B - R_1}{C}\,t^2 \quad \text{ou} \quad t = \sqrt{\frac{2}{g}\,\frac{C}{B - R_1}}\,\sqrt{x}.$$

Ainsi, lorsque dans une expérience on connaissait la valeur de B et de C et la loi du mouvement de descente, ou le rapport $\frac{t}{\sqrt{x}}$; en égalant ce rapport au terme $\sqrt{\frac{2}{g}\,\frac{C}{B - R_1}}$, on avait la valeur de R_1.

Dans une série d'expériences, on a trouvé, savoir :

1°. Le poids moteur étant une plaque de fer de $0^{m},0075$ d'épaisseur, pesant 196 grammes, et suspendue de champ,

$$B = 0^{kil},2043, \quad C = 1^{kil},7908; \quad \text{d'où} \quad R_1 = 0^{kil},0664.$$

La vitesse acquise par le corps, après dix tours de poulie ou après $9^m,14$ de chute, était $3^m,73$ par seconde;

2°. Le poids moteur étant un cylindre en plomb, de $0^m,0325$ de diamètre, du poids de 645 grammes, d'où $R_1 = 0^{kil},0616$; la vitesse acquise après une chute de $9^m,14$ était $6^m,91$ par seconde;

3°. Le poids moteur étant une plaque carrée en fer de $0^m,0075$ d'épaisseur, du poids de 987 grammes et suspendue par l'un des angles; on a eu $B=0^{kil},9953$, $C=2^{kil},5875$; d'où $R_1 = 0^k,0707$. La vitesse acquise après $9^m,14$ de chute était $8^m,01$ par seconde. La résistance moyenne de la poulie est donc $0^{kil},0674$.

Dans une quatrième expérience répétée huit fois avec contre-poids, on a eu

$$B = 0^{kil},9794, \quad C = 4^{kil},6455 \quad \text{et} \quad R_1 = 0^{kil},0676.$$

La vitesse acquise après dix tours de poulie, ou $9^m,133$ de chute, était $5^m,93$ par seconde.

Cette résistance n'est inférieure que de quelques dixièmes de gramme à celle des premières expériences; on voit ainsi que la seconde poulie et le second cordon n'augmentaient pas sensiblement la résistance de l'appareil qui est moyennement de $0^{kil},0675$.

Cet accord entre les résistances propres de l'appareil dans des expériences où les vitesses acquises après une chute de plus de 9 mètres ont varié depuis 3 à 4 mètres jusqu'à 8 mètres, et la constance de cette résistance pendant toute la chute permettent de regarder la résistance que l'air oppose au mouvement de rotation de la poulie, comme indépendante de la vitesse, au moins dans les limites que l'on a atteintes, et montrent qu'elle est de la nature des frottements.

Précision remarquable dans l'observation des durées.

Afin de reconnaître la loi des résistances de l'appareil, on a placé en regard, dans le tableau suivant, pour des espaces parcourus de cinquième en cinquième de tour, la durée observée dans la quatrième expérience et corrigée de 0s,020, conformément à ce qui a été indiqué plus haut, et la durée calculée par la formule du mouvement uniformément accéléré,

$$t = 1,0204 \sqrt{x}.$$

Dans ce tableau, les différences entre les résultats des calculs et ceux des observations n'ont été que de deux à trois millièmes de seconde, ce qui met en évidence le degré de précision des procédés que l'on a employés, et démontrerait, s'il en était encore besoin, la loi du mouvement de chute des corps beaucoup mieux que tous les appareils employés jusqu'ici.

On insiste à dessein sur la précision que ces procédés ont donnée dans l'estimation du temps, parce qu'ayant à mesurer des influences très-faibles, il importe que l'on soit assuré à l'avance que les différences de temps qui les constatent ne peuvent pas provenir de défauts de l'appareil; et ensuite sur ce que, dans le cas où cette résistance est bien connue, les résultats du calcul et de l'observation présentent un accord très-remarquable. On aura encore à revenir sur ce sujet.

Tableau des vitesses observées et des vitesses calculées.

ESPACES PARCOURUS EN		DURÉES DE LA CHUTE.			ESPACES PARCOURUS EN		DURÉES DE LA CHUTE.		
Circonférences de poulie	Mètres.	Observées et corrigées de 0",020.	Calculées $t=1,0204\sqrt{x}$.	Différence	Circonférences de poulie.	Mètres.	Observées et corrigées de 0",020.	Calculées $t=1,0204\sqrt{x}$.	Différence
	m	s	s	millièm. de sec		m	s	s	millièm. de sec
0,1	0,0913	0,322	0,308	»	5,2	4,7491	2,224	2,223	— 1
0,2	0,1827	0,436	0,436	0	5,4	4,9317	2,266	2,265	— 1
0,3	0,2749	0,538	0,534	— 4	5,6	5,1144	2,308	2,306	— 2
0,4	0,3653	0,617	0,617	0	5,8	5,2970	2,345	2,346	+ 1
0,5	0,4567	0,694	0,690	— 4	6,0	5,4798	2,389	2,386	— 3
0,6	0,5480	0,755	0,755	0	6,2	5,6624	2,430	2,427	— 3
0,7	0,6493	0,814	0,816	+ 2	6,4	5,8451	2,468	2,466	— 2
0,8	0,7306	0,873	0,873	0	6,6	6,0277	2,505	2,504	— 1
0,9	0,8220	0,925	0,925	0	6,8	6,2104	2,543	2,542	— 1
1,0	0,9133	0,976	0,978	+ 2	7,0	6,3931	2,580	2,581	+ 1
1,2	1,0960	1,068	1,067	— 1	7,2	6,5757	2,617	2,618	+ 1
1,4	1,2786	1,153	1,153	0	7,4	6,7584	2,653	1,653	0
1,6	1,4613	1,233	1,233	0	7,6	6,9410	2,689	2,688	— 1
1,8	1,6439	1,309	1,309	0	7,8	7,1237	2,724	2,725	+ 1
2,0	1,8266	1,379	1,380	+ 1	8,0	7,3064	2,762	2,759	— 3
2,2	2,0091	1,446	1,447	+ 1	8,2	7,4890	2,792	2,793	+ 1
2,4	2,1917	1,510	1,511	+ 1	8,4	7,6717	2,825	2,828	+ 3
2,6	2,3744	1,573	1,573	0	8,6	7,8543	2,859	2,860	+ 1
2,8	2,5572	1,633	1,632	— 1	8,8	8,0370	2,893	2,894	+ 1
3,0	2,7399	1,686	1,688	+ 2	9,0	8,2197	2,925	2,926	+ 1
3,2	2,9225	1,746	1,743	— 3	9,2	8,4023	2,956	2,958	+ 2
3,4	3,1051	1,798	1,797	— 1	9,4	8,5849	2,989	2,990	+ 1
3,6	3,2878	1,851	1,850	— 1	9,6	8,7676	3,021	3,022	+ 1
3,8	3,4704	1,902	1,902	0	9,8	8,9503	3,050	3,052	+ 2
4,0	3,6532	1,953	1,950	— 3	10,0	9,1330	3,081	3,084	+ 3
4,2	3,8360	1,998	1,998	0	10,2	9,3156	3,114	3,116	+ 2
4,4	4,0187	2,046	2,045	— 1	10,4	9,4983	3,144	3,146	+ 2
4,6	4,2013	2,092	2,091	— 1	10,6	9,6809	3,176	3,175	— 1
4,8	4,3839	2,138	2,136	— 2	10,8	9,7636	3,204	3,205	+ 1
5,0	4,5665	2,181	2,180	— 1	11,0	10,046	3,237	3,235	— 2

Détermination de la résistance variable éprouvée par le corps dans son mouvement.

La résistance variable, quelle qu'elle soit, qui agit sur un corps pour en retarder le mouvement, peut toujours être déterminée, si l'on connaît à la fois les forces accélératrices qui agissent sur ce corps et la loi de son mouvement; dans le cas actuel d'un corps suspendu à un cordon qui s'enroule sur une poulie, les forces accélératrices proviennent de poids qui sont connus pour chacune des expériences, de même que les éléments des forces retardatrices de la poulie et du frottement; on pourra donc, d'après la connaissance du mouvement observé par les procédés que nous avons indiqués, déterminer à chaque instant de la chute la force retardatrice variable que l'air oppose au mouvement du corps et à celui de la poulie, et, en retranchant cette dernière, on aura enfin la résistance que l'air fait éprouver au corps seul.

L'expression de cette résistance, désignée par R, est, comme on l'a vu, $R = B - R_1 - \frac{C}{g}\frac{dv}{dt}$, où il reste à déterminer la valeur $\frac{dv}{dt}$ à chaque instant de la chute et pour chaque expérience.

Détermination de l'accroissement de la vitesse.

Le relèvement des courbes du mouvement se faisant de cinquième en cinquième de circonférence de poulie, la différence des durées observées consécutivement donnant le temps que le corps avait employé pour parcourir un cinquième de circonférence, cette quantité divisée par la différence des durées donne la vitesse moyenne avec laquelle cet espace a été parcouru; et, comme cet espace est moindre que 2 décimètres, on peut regarder le quotient comme la vitesse acquise au milieu de l'intervalle. Les différences de durées, de cinquième en cinquième, ne suivent pas, dans les tableaux, un ordre assez régulier pour donner les vitesses avec l'exactitude nécessaire. Les irrégularités qui reviennent d'une manière périodique, de tour en tour, sont causées par

la flexion du pinceau, qui est toujours un peu entraîné par le papier du plateau de l'appareil chronométrique. Cet effet ayant lieu tantôt dans un sens et tantôt dans l'autre, il doit, suivant la position relative du pinceau et du centre du plateau, produire une erreur en plus dans une position et en moins dans la position suivante, de manière qu'il rend irrégulières les différences successives des cinquièmes de tour; mais, si l'on prend des durées d'un tour de poulie tout entier, la flexion du pinceau se retrouvant sensiblement la même à chaque position semblable de la poulie, son effet sur la différence est à peu près nul, et les durées suivent, en effet, une marche aussi régulière que le mouvement même du corps; l'expérience rapportée en détail, un peu plus loin, en offre la preuve; cette régularité a lieu également pour toutes les autres séries.

On voit aussi que, vers la fin de la chute, les vitesses ne croissent plus que fort peu, et que les durées successives d'un tour de poulie ne diffèrent pas entre elles parfois d'un millième de tour de plateau, ou d'un demi-millième de seconde, et qu'en remontant vers le commencement de la chute, les durées croissent régulièrement de quelques millièmes de tour. Ce résultat montre de nouveau que les procédés employés ont permis, non-seulement de diviser le temps en parties moindres que des millièmes de seconde, mais encore d'apprécier de pareilles quantités dans les durées.

La seule incertitude qui existât encore dans ces expériences était dans la durée précise d'un tour de plateau et la seule qui nécessitât qu'une expérience fût répétée plusieurs fois, afin de fournir une estimation moyenne plus précise et unique.

Cette durée se déduisait, comme on l'a dit, de celle de cent tours, mesurés pour chaque expérience au moyen d'un chronomètre donnant les dixièmes de seconde; et, par consé-

quent, permettant d'estimer cette durée à un millième de seconde près.

Voici, comme exemple, le tableau du relèvement des courbes d'une expérience faite avec un plateau carré de 1 mètre de côté, et répétée huit fois de suite, et les vitesses moyennes obtenues pour divers points de la chute.

On ne donne ici que le résultat moyen.

Tableau des durées moyennes de la chute d'un plateau carré de 1 mètre de côté et des vitesses acquises en divers points.

ESPACES parcourus en circonféren. de poulie de 0m,914.		ESPACES par-courus en mètres.	VITESSES moyen-nes.	ESPACES parcourus en circonféren. de poulie de 0m,914.		ESPACES par-courus en mètres.	VITESSES moyen-nes.	ESPACES parcourus en circonféren. de poulie de 0m,914.		ESPACES par-courus en mètres.	VITESSES moyen-nes.
			m: sec				m: sec				m: sec
3,2	3,3			5,6	5,7	5,210	6,2120	8,0	8,1	7,403	6,878
3,4	3,5			5,8	5,9	5,393	6,2766	8,2	8,3	7,586	6,919
3,6	3,7	3,382	5,3866	6,0	6,1	5,575	6,3266	8,4	8,5	7,749	6,922
3,8	3,9	3,565	5,5100	6,2	6,3	5,758	6,4522	8,6	8,7	7,952	6,931
4,0	4,1	3,747	5,5880	6,4	6,5	5,931	6,4922	8,8	8,9	8,135	6,946
4,2	4,3	3,930	5,6530	6,6	6,7	6,124	6,5060	9,0	9,1	8,317	6,956
4,4	4,5	4,113	5,7666	6,8	6,9	6,307	6,6350	9,2	9,3	8,500	6,969
4,6	4,7	4,296	5,8421	7,0	7,1	6,489	6,6722	9,4	9,5	8,663	6,974
4,8	4,9	4,479	5,9222	7,2	7,3	6,672	6,7033	9,6	9,7	8,866	6,975
5,0	5,1	4,661	5,9911	7,4	7,5	6,835	6,7388	9,8	9,9	9,049	6,992
5,2	5,3	4,844	6,0620	7,6	7,7	7,038	6,8304	10,0	10,1	9,231	
5,4	5,5	5,027	6,1444	7,8	7,9	7,221	6,859	10,2	10,3	9,414	
5,6				8,0				10,4			

A l'aide des vitesses moyennes en chaque point de la chute, on a construit, pour chaque expérience, une courbe, en prenant les espaces parcourus pour abscisses et les vitesses acquises pour ordonnées; on rectifiait cette courbe quand tous les points ne présentaient pas assez de régularité; on y menait des tangentes, et, en mesurant leur inclinaison avec la ligne des abscisses, on obtenait le rapport $\frac{dv}{dx}$ de l'accroissement des vitesses à celui des espaces.

Avec ces rapports pour ordonnées, on a construit une courbe qui liait tous ces rapports entre eux, et qui formait la loi graphique continue de la valeur $\frac{dv}{dt}$. Lorsque les points ne se suivaient pas avec une régularité assez grande, on rectifiait la courbe; mais on s'assurait que cette modification ne changeait pas notablement la première relation des vitesses. Pour cela, on reconstruisait, par des procédés graphiques, la première courbe considérée comme l'intégrale de la seconde, de même qu'on avait déduit la seconde, en la considérant comme la différentielle de la première. A l'aide de ces courbes, on formait le tableau des vitesses croissant régulièrement de 5 en 5 centimètres, et quelquefois de quantités moitié moindres, et l'on plaçait en regard les accroissements de vitesses correspondantes et les espaces parcourus; le produit des deux premières quantités, c'est-à-dire de v ou $\frac{dx}{dt}$ et de $\frac{dv}{dx}$, donnait la quantité cherchée $\frac{dv}{dt}$, et par suite la résistance R éprouvée par le corps en mouvement.

Ces opérations, qui peuvent être regardées comme l'analyse des résistances que le corps éprouve dans son mouvement, ont ainsi donné les résistances à chaque instant, indépendamment de toute hypothèse.

Deux corrections ont été apportées aux résultats ainsi Corrections

relatives à l'extension du cordon et à la densité de l'air.

trouvés : l'une est relative à l'extension du cordon ; l'autre est relative à la densité de l'air, qui a un peu varié dans les diverses expériences.

Pour que le cordon fût placé sur la gorge de la poulie, avec l'extension due au poids qui devait l'entraîner, et afin que les effets de la tension produisissent peu de différences et que l'on pût facilement en tenir compte, on a eu soin de n'enrouler le cordon sur la poulie qu'avec lenteur, et lorsque le corps placé au bas de la chute y était suspendu : de cette manière, il était partout également tendu ; mais, lorsque le corps avait acquis dans sa chute une certaine vitesse, la résistance de l'air diminuait le poids que supportait le cordon, et, par conséquent, sa tension et sa longueur.

Pour estimer cet effet, on a suspendu à l'extrémité d'une grande longueur de cordon un plateau pesant 500 grammes ; sur ce plateau, on a placé un poids égal à l'un des plus forts poids qu'il avait à supporter dans les expériences. Quand le cordon eut pris l'extension à laquelle il s'est arrêté, on le déchargea rapidement de quantités de plus en plus grandes, et à chaque fois on nota sa contraction : on obtint ainsi, pour les cordons de soie de $0^{m},0012$ et de $0^{m},0010$ de diamètre, les résultats contenus dans le tableau suivant :

Tableau de la contraction des cordons sous différents poids.

		POIDS (EN KILOG.).																					
		5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,3	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
Cordon de $0^m,0012$.	Longueurs (met.).	9,238	9,238	9,235	9,235	9,224	9,206	9,197	9,190	9,185	9,180	9,178	9,171	9,167	9,165	9,164	9,160	9,158	9,155	9,153	9,150	9,147	9,142
	Différences (mil.).		0	3	0	11	18	9	7	5	5	2	7	4	2	1	4	2	3	2	3	3	5
Cordon de $0^m,0010$.	Longueurs (met.).	»	»	»	»	9,138	9,120	9,110	9,102	9,098	9,092	9,085	9,079	9,071	9,068	9,065	9,061	9,057	9,053	9,049	9,044	9,040	9,035
	Différences (mil.).		»	»	»	»	18	10	8	4	6	7	6	8	3	3	4	4	4	4	5	4	5

Après avoir obtenu, par un premier calcul, la résistance que l'air opposait au corps dans le sens contraire à son mouvement aux divers points de la chute, on connaissait la différence entre les poids que le cordon supportait à un instant donné et quand on l'avait enroulé, ainsi que la contraction qu'il avait éprouvée sur une longueur connue; on trouvait donc, par de simples proportions, la réduction que l'on devait faire subir à la vitesse. La valeur $\frac{dv}{dx}$ n'était d'ailleurs soumise à aucune réduction, puisque ce n'est qu'un rapport entre deux quantités qui subissent des diminutions proportionnelles entre elles.

Les tensions du cordon et leurs différences étaient assez faibles pour que, dans aucun cas, la réduction à opérer sur la vitesse n'ait atteint un centième de cette quantité.

La température et la pression barométrique ayant varié dans des limites de quelque étendue, les résistances calculées ont été ramenées à celles que l'air offrirait à la température moyenne de 10 degrés centigrades, et sous une pression de 76 centimètres de mercure à 0 degré, moyennes des températures et des pressions.

Tableau des expériences.

Le tableau suivant donne les valeurs ainsi réduites pour diverses vitesses acquises dans la seconde moitié de la chute d'un plateau carré de 1 mètre de côté. On a chargé le plateau de poids de plus en plus grands, à l'effet d'obtenir de grandes vitesses; pour ralentir son mouvement, on a, au contraire, placé des contre-poids, de façon que, à la fin de la chute, le plateau n'atteignît que des vitesses de moins en moins grandes.

Tableau du calcul des résistances de l'air contre des plateaux carrés 1 mètre de côté, à différentes vitesses et animés d'un mouvement accéléré.

EXPÉRIENCE N° 5.						EXPÉRIENCE N° 6.					
				RÉSISTANCES						RÉSISTANCES	
Espaces parcourus en circonférence de poulie de $0^m,914$.	Vitesses acquises	Accroissement de vitesse $\frac{dv}{dx}$.	Vitesses corrigées de la contraction du cordon.	Observées	Qui seraient dues à la densité ordinaire de l'air.	Espaces parcourus en circonférence de poulie de $0^m,914$.	Vitesses acquises	Accroissement de vitesse $\frac{dv}{dx}$.	Vitesses corrigées de la contraction du cordon.	Observées	Qui seraient dues à la densité ordinaire de l'air
	m·s	m·s	m·s	kil	kil		m·s	m·s		kil	kil
4,225	5,00	0,412	4,965	2,360	2,397	4,200	5,60	0,477	La contraction n'étant que de $0^m,002$ à $0^m,003$ a été négligée.	3,177	3,29[illegible]
4,354	5,05	0,403	5,005	2,313	2,411	4,309	5,65	0,472		3,187	3,30[illegible]
4,485	5,10	0,393	5,064	2,326	2,424	4,442	5,70	0,466		3,192	3,30[illegible]
4,620	5,15	0,381	5,114	2,350	2,441	4,536	5,75	0,459		3,198	3,31[illegible]
4,760	5,20	0,370	5,164	2,370	2,470	4,654	5,80	0,452		3,214	3,3[illegible]
4,900	5,25	0,359	5,212	2,389	2,490	4,770	5,85	0,444		3,230	3,34[illegible]
5,050	5,30	0,348	5,261	2,411	2,513	4,890	5,90	0,437		3,242	3,3[illegible]
5,207	5,35	0,335	5,310	2,437	2,540	5,100	5,95	0,429		3,262	3,3[illegible]
5,368	5,40	0,323	5,360	2,461	2,565	5,136	6,00	0,420		3,277	3,394
5,530	5,45	0,310	5,409	2,489	2,594	5,262	6,05	0,410		3,304	3,422
5,708	5,50	0,297	5,458	2,519	2,625	5,390	6,10	0,402		3,324	3,442
5,890	5,55	0,283	5,507	2,549	2,657	5,522	6,15	0,393		3,345	3,464
6,080	5,60	0,262	5,554	2,603	2,713	5,660	6,20	0,384		3,366	3,486
6,268	5,65	0,254	5,601	2,619	2,730	5,797	6,25	0,374		3,397	3,518
6,472	5,70	0,239	5,651	2,668	2,780	5,938	6,30	0,364		3,426	3,548
6,690	5,75	0,224	5,700	2,693	2,807	6,080	6,35	0,353		3,458	3,571
6,930	5,80	0,207	5,749	2,738	2,855	6,230	6,40	0,345		3,481	3,605
7,200	5,85	0,189	5,799	2,786	2,905	6,380	6,45	0,334		3,517	3,642
7,493	5,90	0,172	5,849	2,84[illegible]	2,95[illegible]	6,538	6,50	0,325		3,544	3,670
7,820	5,95	0,153	5,898	2,884	3,006	6,700	6,55	0,314		3,579	3,706
8,100	6,00	0,133	5,948	2,948	3,072	6,870	6,60	0,303		3,617	3,746
						7,040	6,65	0,291		3,662	3,791
						7,240	6,70	0,279		3,704	3,836
						7,428	6,75	0,265		3,755	3,880
						7,636	6,80	0,254		3,795	3,920

Tableau du calcul des résistances de l'air contre des plateaux carrés de 1 mètre de côté, à différentes vitesses et animés d'un mouv. accéléré. [Suite.]

EXPÉRIENCE N° 7.						EXPÉRIENCE N° 8.					
Espaces parcourus en circonférence de poulie de 0m,914.	Vitesses acquises.	Accroissement de vitesse $\frac{dv}{dx}$.	Vitesses corrigées de la contraction de cordon.	RÉSISTANCES Observées.	RÉSISTANCES Qui seraient dues à la densité ordinaire de l'air.	Espaces parcourus en circonférence de poulie de 0m,914.	Vitesses acquises.	Accroissement de vitesse $\frac{dv}{dx}$.	Vitesses corrigées de la contraction de cordon.	RÉSISTANCES Observées.	RÉSISTANCES Qui seraient dues à la densité ordinaire de l'air.
	m:s	m:s	m:s	kil	kil		m:s	m:s	m:s	kil	kil
6,150	7,70	0,528	7,690	5,33	5,50	3,656	3,70	0,395	3,682	1,458	1,458
6,253	7,75	0,522	7,740	5,35	5,52	3,720	3,75	0,384	3,732	1,470	1,470
6,360	7,80	0,516	7,790	5,37	5,54	3,869	3,80	0,372	3,782	1,486	1,486
6,460	7,85	0,510	7,840	5,40	5,57	4,010	3,85	0,361	3,831	1,502	1,502
6,570	7,90	0,504	7,890	5,43	5,60	4,170	3,90	0,350	3,880	1,519	1,519
6,680	7,95	0,499	7,939	5,45	5,62	4,320	3,95	0,336	3,929	1,541	1,541
6,789	8,00	0,492	7,989	5,48	5,65	4,488	4,00	0,322	3,979	1,570	1,570
6,900	8,05	0,485	8,039	5,51	5,68	4,656	4,05	0,311	4,028	1,585	1,585
7,010	8,10	0,476	8,088	5,56	5,72	4,840	4,10	0,298	4,077	1,608	1,608
7,120	8,15	0,468	8,138	5,61	5,79	5,020	4,15	0,282	4,126	1,634	1,634
7,240	8,20	0,461	8,188	5,66	5,82	5,206	4,20	0,370	4,175	1,666	1,666
7,355	8,25	0,452	8,238	5,71	5,89	5,430	4,25	0,259	4,225	1,687	1,687
7,480	8,30	0,442	8,287	5,78	5,96	5,660	4,30	0,244	4,275	1,716	1,716
7,607	8,35	0,432	8,337	5,84	6,02	5,886	4,35	0,229	4,324	1,750	1,750
7,733	8,40	0,422	8,387	5,91	6,10	6,150	4,40	0,217	4,373	1,783	1,783
7,865	8,45	0,415	8,436	6,01	6,20	6,406	4,45	0,200	4,423	1,817	1,817
8,000	8,50	0,404	8,486	6,10	6,29	6,700	4,50	0,184	4,472	1,852	1,852
8,140	8,55	0,385	8,535	6,20	6,40	7,010	4,55	0,169	4,522	1,890	1,890
8,280	8,60	0,372	8,585	6,30	6,50	7,350	4,60	0,153	4,571	1,930	1,930
8,438	8,65	0,357	8,633	6,41	6,61	7,730	4,65	0,138	4,621	1,987	1,987

Tableau du calcul des résistances de l'air contre des plateaux carrés de 1 mètre de côté, à différentes vitesses et animés d'un mouv^t. accéléré. [Suite.]

EXPÉRIENCE N° 9.						EXPÉRIENCE N° 10.					
Espaces parcourus en circonférence de poulie de 0m,914.	Vitesses acquises.	Accroissement de vitesse $\frac{dv}{dx}$	Vitesses corrigées de la contraction du cordon	RÉSISTANCES Observées.	Qui seraient dues à la densité ordinaire de l'air.	Espaces parcourus en circonférence de poulie de 0m,914.	Vitesses acquises.	Accroissement de vitesse $\frac{dv}{dx}$	Vitesses corrigées de la contraction du cordon.	RÉSISTANCES Observées.	Qui seraient dues à la densité ordinaire de l'air.
	m:s	m:s	m:s	kil	kil	m	m:s	m:s		kil	kil
3,662	2,70	0,284	2,692	0,855	0,855	3,794	1,350	0,141	La correct. est négligeable.	0,200	0,200
3,852	2,75	0,277	2,742	0,859	0,859	4,190	1,400	0,129		0,227	0,227
4,054	2,80	0,270	2,792	0,865	0,865	4,636	1,450	0,117		0,236	0,236
4,257	2,85	0,260	2,842	0,871	0,871	5,124	1,500	0,106		0,246	0,246
4,476	2,90	0,253	2,892	0,878	0,878	5,680	1,550	0,094		0,257	0,257
4,684	2,95	0,246	2,941	0,884	0,884	6,300	1,600	0,082		0,268	0,268
4,916	3,00	0,237	2,991	0,893	0,893	7,000	1,650	0,071		0,280	0,280
5,150	3,05	0,228	3,041	0,906	0,906	7,850	1,700	0,059		0,294	0,294
5,394	3,10	0,219	3,091	0,919	0,919						
5,648	3,15	0,208	3,140	0,935	0,935						
5,930	3,20	0,196	3,190	0,954	0,954						
6,210	3,25	0,183	3,240	0,979	0,979						
6,520	3,30	0,169	3,290	1,007	1,007						
6,856	3,35	0,153	3,340	1,037	1,037						
7,240	3,40	0,133	3,390	1,068	1,068						

En considérant les résistances qui correspondent à des vitesses égales dans les deux expériences différentes, n[os] 5 et 6, on reconnaît que la résistance est plus grande pour celle qui est plus éloignée de la fin de la chute ou dans laquelle l'accroissement $\frac{dv}{dx}$ est plus grand; cela montre que cette résistance ne dépend pas seulement de la vitesse acquise

à l'instant que l'on considère, mais encore de la grandeur même de cette vitesse avant cet instant.

Pl. V, fig. 1. Pour saisir l'ensemble des résultats des diverses expériences, on a construit, pour chacune d'elles, une courbe, en prenant les vitesses pour abscisses et les résistances pour ordonnées. On ne peut pas relier toutes les courbes partielles par une courbe unique; par conséquent, la résistance de l'air dans les mouvements accélérés est fonction, non pas seulement de la vitesse, mais aussi et essentiellement de la variation même du mouvement.

En jetant les yeux sur la figure, on voit que, vers la partie qui correspond au mouvement uniforme, les courbes partielles se rapprochent d'une autre courbe générale qui les enveloppe toutes et qui représente la loi de la résistance dans le mouvement uniforme. Les courbes partielles des résistances dans les mouvements variés sont toujours au-dessus de cette courbe générale, et elles s'en écartent d'autant plus que le mouvement est plus éloigné de l'uniformité. Cela prouve que la résistance due à chaque vitesse dans le mouvement varié est d'autant plus grande que l'accélération du mouvement est plus rapide. On reviendra plus tard sur cet élément de l'expression de la résistance absolue de l'air, et l'on ne considérera, pour le moment, que la résistance représentée par les extrémités des courbes; c'est le cas où ces vitesses sont sensiblement uniformes.

D'après les expériences déjà faites sur de petites surfaces et d'après des considérations théoriques sur la résistance des fluides et des milieux résistants (*Mémorial de l'Artillerie*, n° V), enfin, d'après les expériences sur la résistance de l'eau, dont il est rendu compte dans le présent numéro, l'expression de la résistance que l'air oppose au mouvement des corps animés d'une vitesse uniforme doit être composée de deux termes; l'un de ces termes est constant et indépendant de la vitesse, l'autre est proportionnel au carré de la

vitesse. Il est donc naturel d'essayer quels seraient les coefficients d'une expression de cette forme qui représenterait le mieux les résultats. En cherchant quelle est la parabole qui passe par les extrémités des courbes des expériences 7 et 10, on trouve pour l'expression qui représente la résistance de l'air à l'état ordinaire, sur un plateau mince de 1 mètre carré de superficie,

$$R = 0^{kil},036 + 0,089v^2.$$

On fera remarquer que, comme dans les expériences qui se rapportent aux grandes vitesses, les corps n'étaient pas encore arrivés au mouvement uniforme; la résistance obtenue étant un peu trop grande, le terme 0,089 qui en dépend principalement est, par conséquent, un peu trop grand, et devra être réduit, comme on le verra plus tard; au contraire, dans les expériences où les vitesses ont été peu considérables, l'accroissement de la vitesse étant aussi très-faible, l'influence de cette dernière quantité sur ce terme est très-peu sensible et ne ferait varier le terme constant, 36 grammes, que d'une quantité négligeable.

Résistance éprouvée par une roue à ailettes.

L'existence d'un terme qui croît moins rapidement que le carré de la vitesse est encore démontré par les expériences qui ont été faites sur une roue à ailettes et rapportées dans le n° V du *Mémorial*. Cette roue, avec laquelle on a obtenu des vitesses uniformes, était mise en mouvement par des poids attachés à un cordon de soie qui s'enroulait sur une poulie; les ailettes, au nombre de vingt, ayant 20 centimètres de largeur et 20 centimètres de hauteur, et par suite 80 centièmes de mètre carré de superficie, avaient leur centre de figure à 60 centimètres de l'axe.

En cherchant le coefficient qui représentait le résultat de chaque expérience, et en rapportant les poids et les vitesses au centre de résistance des ailettes situé à 605 millimètres de l'axe de l'arbre, on a trouvé, pour les résistances exé-

cées sur les ailettes et sur les diverses parties de la roue, les résultats suivants :

Vitesses uniformes du centre de résistance des ailettes (en mètres par seconde)..	2,64	3,75	4,73	5,39	6,12	6,58	7,16	7,57
Résistance de l'air rapportée au même point (en kilogrammes) .	0,643	1.253	1,904	2,500	3,143	3,792	4,428	6,041
Rapport de la résistance au carré de la vitesse pour l'unité de superficie	0,1145	0,1102	0,1055	0,1068	0,1050	0,1085	0,1070	0,1095

On voit qu'à partir des vitesses moyennes de 5 à 6 mètres par seconde, le coefficient de la résistance augmente quand les vitesses diminuent.

L'expression de cette résistance doit donc contenir un terme qui croisse moins rapidement que le carré de la vitesse; tel serait un terme constant. Si l'on cherche à introduire un terme de cette espèce, on voit qu'il peut être, avec le coefficient du carré de la vitesse, dans le même rapport que pour les plateaux carrés de 1 mètre de côté, et l'on trouve que ces résistances sont assez bien représentées par la formule

$$\frac{R}{S} = 1,205\,(0^{kil},036 + 0,084\,v^2) = 0^{kil},0434 + 0,1002\,v^2,$$

dans laquelle R est la résistance due aux ailettes seules, S leur superficie et v la vitesse de leur centre de résistance.

En effet, en retranchant des résistances du tableau ci-dessus la portion due aux parties de la roue autres que les ailettes, et dont l'intensité rapportée au centre de résistance des ailettes est représentée, dans les expériences citées, par la formule

$$R = 0,0536\,v,$$

et en ramenant ces valeurs à celles qui proviendraient de la densité moyenne de l'air, c'est-à-dire en divisant les résistances observées par 0,998, vu que la température moyenne était 6 degrés, et la hauteur barométrique 0^{m},7475, on obtient les résultats contenus dans le tableau suivant :

Vitesses uniformes du centre des résistances des ailettes (en mètres par seconde)........	2,64	3,75	4,73	5,39	6,12	6,58	7,16	7,57
Résistances des ailettes ramenées à la densité moyenne de l'air (en kilogrammes)............	0,667	1,480	1,767	2,300	2,948	3,467	4,157	4,742
Coefficient du carré de la vitesse calculée pour satisfaire à chaque expérience............	0,1097	0,1020	0,0998	0,0995	0,0976	0,1021	0,1007	0,1027
Vitesse qui satisfait à la formule (en mètres par seconde) . . .	2,66	3,76	4,65	5,35	6,00	6,61	7,17	7,62

On voit, d'après ces résultats, que la formule qui contient un terme constant représente beaucoup mieux les résultats qu'une formule qui n'en contient pas, et que pour les représenter exactement, on n'aurait besoin de faire varier les vitesses, à l'exception d'une seule, que de 4 à 5 centimètres par seconde.

Après avoir analysé la loi du mouvement d'un corps dans l'air vers la partie de la chute où les vitesses sont les plus grandes, et après avoir reconnu que la résistance de l'air est proportionnelle au carré de ces vitesses, il convient d'étudier ce mouvement dans le commencement, alors que la valeur du terme qui contient le carré de la vitesse, décroissant très-rapidement avec cette quantité, devient tout à fait négligeable, tandis que le terme constant conserve toute son influence. Résistance qui dépend de l'accélération du mouvement.

Si cette résistance agissait seule, le mouvement de la chute du plateau serait uniformément accéléré et l'accrois-

sement des durées de la chute serait proportionnel à l'accroissement de la racine carrée des espaces parcourus : par conséquent, en prenant les premières quantités pour abscisses et les secondes pour ordonnées, on obtiendrait une suite de points qui devraient être sur une ligne droite; alors la tangente trigonométrique de l'angle qu'elle fait avec la ligne sur laquelle on compte les temps, serait le double de la force accélératrice et donnerait la valeur de la résistance.

En exécutant ce tracé pour les six expériences faites avec le plateau de 1 mètre de côté, on a reconnu qu'effectivement, dans le commencement, la série des points est presque en ligne droite, à quelques millièmes de seconde près, et que ce n'était que vers la fin du premier tour de poulie, pour les expériences dans lesquelles la vitesse croissait rapidement, et plus loin pour les autres, que la ligne qui représente la série des divers points s'infléchissait d'une manière sensible vers la ligne sur laquelle étaient comptés les temps.

On a ainsi, pour chaque expérience, plusieurs points pour déterminer la position de la tangente à la courbe. Cette ligne, comme on l'a observé pour l'appareil marchant à vide, ne passe pas par l'origine des coordonnées; elle coupe le prolongement de la ligne des temps en un point dont la distance à l'origine indique la quantité corrective à ajouter aux durées observées. D'après cela, la loi du mouvement dans le commencement de la chute est représentée par l'équation

$$t + \alpha = \beta \sqrt{x},$$

dans laquelle les quantités α et β dérivent immédiatement du tracé de la loi du mouvement.

En représentant par R' la résistance éprouvée par le corps dans les premiers instants, et conservant à R_r, à B et

à C les valeurs qu'elles ont déjà exprimées, on aura, tant que la résistance R′ sera constante,

$$R' + R_1 = B - \frac{C}{g} \cdot \frac{dv}{dt};$$

d'où l'on tire, pour la loi du mouvement,

$$t = \sqrt{\frac{2}{g} \cdot \frac{C}{B - R_1 - R'}}\sqrt{x} \quad \text{et} \quad v = g \cdot \frac{B - R_1 - R'}{C}\, t.$$

On devra donc avoir

$$\sqrt{\frac{2}{g} \cdot \frac{C}{B - R_1 - R'}} = \beta,$$

et, par suite,

$$v = \frac{2}{\beta^2}\, t \quad \text{et} \quad R' = B - R_1 - \frac{2C}{g\beta^2}.$$

En appliquant ces formules aux six expériences sur les plateaux carrés de 1 mètre de côté, on obtient les résultats contenus dans le tableau suivant :

NUMÉROS des expériences.	VALEURS DE						
	B	C	R_1	α	β	$\frac{dv}{dt}$	R′
	kil		kil	s			kil
10	0,4445	8,1020	0,0676	0,085	2,318	0,373	0,069
9	1,4741	7,0735	0,0676	0,056	1,160	1,485	0,337
8	2,4346	6,1158	0,0676	0,036	0,822	2,96	0,521
5	3,4133	5,0130	0,0674	0,0317	0,625	5,13	0,726
6	4,9893	6,5890	0,0674	0,042	0,586	5,83	1,122
7	9,9293	11,5290	0,0674	0,060	0,525	7,26	1,322

On voit, par ces résultats, que la résistance au mouvement des corps qui, dans les premiers instants, serait

nulle si elle ne dépendait que du carré de la vitesse, et qui serait constante et égale à 36 grammes si elle ne contenait qu'un terme constant, renferme encore un autre terme.

Or, dans ces expériences, les effets des masses, des frottements et de la résistance de l'appareil ont été déterminés par des épreuves faites de la même manière et dans les mêmes circonstances, et ont donné pour chaque expérience répétée deux ou quatre fois, des quantités qui ne différaient au plus que de 5 ou 6 grammes de la moyenne des huit expériences; ils ne peuvent donc pas produire des erreurs égales aux différences que l'on a obtenues. En considérant de plus que, quand le corps n'éprouve pas de résistance sensible dans sa chute, les procédés employés donnent un mouvement uniforme, on doit en conclure que cet accroissement dans la résistance provient du seul élément variable, c'est-à-dire de l'accroissement de la vitesse; on dira plus loin à quoi il tient.

La résistance R′ et la valeur $\frac{dv}{dt}$ augmentent en même temps, mais la première paraît croître un peu plus rapidement que la seconde; cependant, cet accroissement est peu considérable, et si l'on représente le résultat de chaque expérience par un point dont $\frac{dv}{dt}$ est l'abscisse, dont la résistance R′ est l'ordonnée, on peut tracer une droite qui passe par le troisième point, puis à peu près à égale distance du premier et du deuxième point, entre le quatrième et le cinquième, un peu au-dessus du sixième. Cette droite prolongée du côté de la ligne sur laquelle on compte les temps, la coupe au-dessus de l'origine à une distance de $0^{kil},036$, et elle est inclinée sur la ligne des $\frac{dv}{dt}$ de 0,164, de telle sorte que son équation est

$$R' = 0^{kil},036 + 0,164\,\frac{dv}{dt}:$$

elle donne, pour les six expériences, les résultats ci-après :

NUMÉROS DES EXPÉRIENCES.	10	9	8	5	6	7
Valeurs de R' de la formule	kil 0,097	kil 0,280	kil 0,521	kil 0,878	kil 0,999	kil 1,226
Valeurs de R' résultant de l'observat.	0,069	0,337	0,521	0,758	1,160	1,360
Différences	+0,028	—0,057	0	+0,120	—0,161	—0,134

La différence est nulle pour le point milieu, alternativement dans un sens et dans l'autre, et à peu près de quantités égales pour les autres points, à l'exception du dernier au-dessous duquel reste le résultat de la formule; cela indique que la résistance doit croître un peu plus rapidement que la valeur de $\frac{dv}{dt}$. Mais la loi simple que nous avons déduite représente assez exactement les résistances.

En exécutant pour les expériences faites avec le plateau carré de 50 centimètres de côté, et, par conséquent, de 25 centièmes de mètre carré de superficie, les mêmes tracés et les mêmes calculs, on trouve les résultats contenus dans le tableau suivant :

NUMÉROS des expériences	VALEURS DE						
	B	C	R_1	α	β	R'	$\frac{dv}{dt}$
17	kil 0,1954	2,8851	kil 0,0676	s 0,095	0,222	kil 0,009	0,4065
11	0,7023	2,302	0,0674	0,033	0,866	0,007	2,67
12	0,8133	2,413	0,0674	0,047	0,920	0,163	2,37
13 et 14	1,9943	3,5943	0,0674	0,057 / 0,030	0,645	0,210	4,84
15	3,9753	5,5750	0,0674	0,0235	0,5725	0,422	6,11
18	5,6489	7,2481	0,0674	0,029	0,539	0,311	6,89
19	6,1280	7,7272	0,0674	0,043	0,534	0,521	7,025
16	6,9483	8,5680	0,0674	0,0275	0,5245	0,511	7,028

D'après ces résultats, on voit que la résistance R', dans les premiers instants du mouvement accéléré, croît avec la valeur de la force accélératrice ou avec $\frac{dv}{dt}$. En cherchant à exprimer la relation de ces deux quantités, on trouve qu'elles sont assez bien représentées par la même formule que ci-dessus,

$$\frac{R}{S} = 0^{\text{kil}},036 + 0,164 \frac{dv}{dt},$$

S représentant la superficie du plateau de 25 centièmes de mètre carré.

Cette valeur, comparée aux résultats des expériences, fournit le tableau suivant :

NUMÉROS DES EXPÉRIENCES.	17	11	12	13-14	15	18	19	16
Valeurs de R_1 résultant de l'observat.	0,009	0,007	0,163	0,210	0,422	0,311	0,521	0,511
Valeurs de R_1 résultant de la formule.	0,025	0,118	0,106	0,208	0,260	0,295	0,297	0,297

Cette comparaison laisse ressortir quelques écarts qu'il eût été plus difficile encore d'éviter ici que dans les expériences précédentes, vu la moindre étendue des surfaces; mais elle montre encore que, pour de grandes valeurs de $\frac{dv}{dt}$, la résistance R' croît plus rapidement que la force accélératrice.

D'après ces expériences, et malgré quelques irrégularités dans les résultats trouvés, il est démontré : 1° que la résistance que l'air oppose au mouvement d'un corps ne dépend pas seulement de la vitesse qu'il possède au moment où on

le considère; qu'elle n'est pas, dans le mouvement uniforme, la même que dans le mouvement varié, et qu'elle est plus grande quand le mouvement est accéléré; 2° que l'augmentation de résistance est d'autant plus considérable, que l'accélération du mouvement est plus grande; 3° que cette augmentation peut être regardée comme proportionnelle à l'accroissement de la vitesse pendant un temps très-court, c'est-à-dire au rapport $\frac{dv}{dt}$. Ainsi, au moins jusqu'à des vitesses de 9 mètres par seconde, la valeur de la résistance que l'air oppose au mouvement accéléré, en ligne droite, d'un plateau carré de 1 mètre de côté qui reste perpendiculaire à la direction du mouvement, est représentée par l'expression

$$R = 0^{kil},036 + 0,164\frac{dv}{dt} + nv^2,$$

dans laquelle R est la résistance exprimée en kilogrammes, v la vitesse exprimée en mètres, t le temps exprimé en secondes et n un coefficient qui doit être déterminé d'après l'expérience. Or, si l'on prend, pour chacune des expériences, les dernières vitesses obtenues dans chaque tableau, l'accroissement $\frac{dv}{dt}$ et la résistance correspondante, qu'on les substitue dans l'équation, on obtiendra les valeurs suivantes :

0,0840, 0,0835, 0,0947, 0,0823, 0,0782, 0,0814,

qui donnent 0,084 pour la valeur moyenne de n; la formule de la résistance de l'air dans le mouvement varié d'un plateau carré de 1 mètre de côté, sera donc

$$R = 0^{kil},036 + 0,164\frac{dv}{dt} + 0,084\,v^2;$$

lorsque le mouvement sera parvenu à l'uniformité, on aura

$$R = 0^{kil},036 + 0,084\, v^2.$$

Après avoir déduit de l'analyse des mouvements observés, les éléments de l'expression de la résistance, et après avoir ainsi établi la loi du mouvement varié dans l'air, il reste à examiner si elle peut représenter le mouvement dans son ensemble, avec la précision que l'on peut attendre des procédés d'observation employés.

Formules du mouvement de la chute des corps dans l'air.

D'après les dispositions de l'appareil, la résistance éprouvée à chaque instant par le corps, par suite de son mouvement vertical de descente dans l'air, est exprimée par la formule

$$R + R_1 = B + \frac{C}{g}\frac{dv}{dt}.$$

D'une autre part, la résistance de l'air dans le mouvement accéléré est représenté par l'expression

$$R = m + nv^2 + q\frac{dv}{dt},$$

dans laquelle m, n et q, pour un plateau carré de 1 mètre de côté, sont respectivement, savoir : $m = 0^{kil},036$, $n = 0,084$ et $q = 0,164$, l'air étant supposé à la température de 10 degrés et à la pression 760 millimètres; de ces équations on tire

$$\frac{dv}{dt} = g\cdot\frac{B - R_1 - m}{C + qg} - \frac{gn}{C + qg}v^2.$$

Cette équation est de même forme que celle du mouvement de la chute d'un corps dans l'air, lorsqu'on suppose la résistance simplement proportionnelle au carré de la vitesse.

En appelant K la vitesse pour laquelle la résistance de

l'air ferait équilibre au poids du corps, et g' l'intensité de la pesanteur, on aura

$$\frac{dv}{dt} = g' - g'\frac{v^2}{K^2}.$$

On doit donc faire

$$g' = \frac{B - R_1 - m}{C + qg} \quad \text{et} \quad \frac{gn}{C + qg} = \frac{g'}{K^2};$$

d'où

$$K^2 = \frac{B - R_1 - m}{n}.$$

En intégrant et en remarquant qu'on a en même temps $x = 0$ et $t = 0$, on aura

$$t = \frac{K}{2g'}\log\frac{K + v}{K - v} \quad \text{et} \quad x = \frac{K^2}{2g'}\log\frac{K^2}{K^2 - v^2}.$$

En substituant dans la première équation la valeur de v tirée de la seconde, après être passé des logarithmes aux nombres, on aura

$$v^2 = K^2\left(e^{\frac{2g'x}{K^2}} - 1\right)e^{-\frac{2g'}{K^2}} = K^2\left(1 - e^{-\frac{2g'}{K^2}x}\right);$$

et, en ne considérant que les valeurs positives de v,

$$t = \frac{K}{2g'}\log\frac{1 + \left(1 - e^{-\frac{2g'}{K^2}x}\right)^{\frac{1}{2}}}{1 - \left(1 - e^{-\frac{2g'}{K^2}x}\right)^{\frac{1}{2}}}.$$

En substituant à g' et à k leurs valeurs, on aura

$$t = \frac{1}{2}\,\frac{C + gq}{\sqrt{(B - R_1 - m)\,n}}\log\frac{1 + \left(1 - e^{-\frac{2gn}{C+gq}x}\right)^{\frac{1}{2}}}{1 - \left(1 - e^{-\frac{2gn}{C+gq}x}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

et

$$v = \sqrt{\frac{B - R_1 - m}{n}}\left(1 - e^{\frac{2gn}{C+gq}x}\right)^{\frac{1}{2}}.$$

On a exprimé t en fonction de x, et non pas x en fonction de t, parce que, dans les expériences, les durées étaient données par l'observation pour des espaces qui croissaient de quantités égales, et que cette circonstance facilitait les calculs numériques; on a construit une table des valeurs de la fonction

$$f\mathrm{X} = \log \frac{1 + \left(1 - e^{\mathrm{X}}\right)^{\frac{1}{2}}}{1 + \left(1 - e^{\mathrm{X}}\right)^{\frac{1}{2}}},$$

dans laquelle X représente la valeur $\frac{2gn}{C+gq}x$ des formules.

Vérification des formules.

Pour vérifier les valeurs de m, n et q déjà déterminées et pour trouver celles qui représenteraient le mieux le mouvement observé d'une chute entière, on a choisi pour exemple l'expérience n° 6, dans laquelle les vitesses étaient déjà assez grandes sans que la contraction du cordon cessât d'être négligeable, et après quelques tâtonnements on a trouvé que les valeurs de $m_1 = 0^{\text{kil}},036$, $q_1 = 0,164$ et $n_1 = 0,085$ satisfaisaient très-bien, en les multipliant toutefois par le rapport de la densité observée de l'air, à la densité moyenne, ce qui donne, pour l'expérience n° 6,

$$m = 0^{\text{kil}},0347, \quad n = 0,08197, \quad q = 0,1582.$$

Tableau de la comparaison des durées et des vitesses de la chute d'un plateau carré de 1 mètre de côté, observées et calculées.

Expérience n° 6. B = $4^{kil},9893$; C = 6,5890 ; température, $16^{o},8$; baromètre, $0^{m},7516$.

ESPACES PARCOURUS — En circonférences de poulie de 0,914.	ESPACES PARCOURUS — En mètres.	Durées observées et corrigées de 0,043.	Vitesses observées.	DURÉES calculées par la formule en faisant $m_1 = 0,036$ $n_1 = 0,085$ $q_1 = 0,164$	VITESSES calculées par la formule en faisant $m_1 = 0,036$ $n_1 = 0,085$ $q_1 = 0,164$	ESPACES PARCOURUS — En circonférences de poulie de 0,914.	ESPACES PARCOURUS — En mètres.	Durées observées et corrigées de 0,043.	Vitesses observées.	DURÉES calculées par la formule en faisant $m_1 = 0,036$ $n_1 = 0,085$ $q_1 = 0,164$	VITESSES calculées par la formule en faisant $m_1 = 0,036$ $n_1 = 0,085$ $q_1 = 0,164$
	m	s		s			m	s	m · s	s	m · s
0,1	0,0914	0,176	"	0,178	"	1,6	1,462	0,725	"	0,723	"
0,2	0,1828	0,254	"	0,253	"	1,8	1,545	0,771	"	0,771	"
0,3	0,2742	0,306	"	0,310	"	2,0	1,828	0,815	"	0,820	3,15
0,4	0,3656	0,359	"	0,358	"	3,0	2,742	1,013	"	1,013	4,99
0,5	0,4398	0,400	"	0,400	"	4,0	3,656	1,187	5,55	1,186	5,53
0,6	0,5484	0,428	"	0,428	"	5,0	4,398	1,346	5,94	1,346	5,94
0,7	0,6398	0,474	"	0,473	"	6,0	5,484	1,493	6,32	1,497	6,27
0,8	0,7312	0,506	"	0,506	"	7,0	6,398	1,636	6,63	1,639	6,53
0,9	0,8226	0,537	"	0,536	"	8,0	7,312	1,771	6,86	1,776	6,74
1,0	0,914	0,566	"	0,566	"	9,0	8,226	1,910	6,95	1,912	6,91
1,2	1,099	0,619	"	0,622	"	10,0	9,140	2,034	6,97	2,042	7,04
1,4	1,280	0,679	"	0,679	"						

D'après ces résultats, on voit que les valeurs de m_1, n_1 et q_1, déterminées directement par l'expérience, représentent très-bien la loi du mouvement d'un corps tombant dans l'air et animé d'un mouvement accéléré, tant pour les espaces parcourus que pour les vitesses acquises. Quant à ces dernières, les différences que l'on remarque ne tiennent qu'à des différences de 1 ou 2 millièmes de seconde. Pour les expériences n°s 5, 7, 10, on a trouvé que le coefficient 0,084, déterminé primitivement, convenait mieux que celui 0,085 et qu'il devait être conservé.

Les résultats de la comparaison sont contenus dans le tableau suivant et font voir que l'accord n'est pas moins remarquable que dans l'expérience précédente :

Tableau de la comparaison des durées de la chute dans l'air d'un plateau carré de 1 mètre de côté, observées et calculées.

NOMBRE de tours de poulie.	EXPÉRIENCE N° 5. B = 8^k,4133. Températ. 17°7 C = 5, 0130. Baromètr. 0^m,7465			EXPÉRIENCE N° 7. B = 9^k,9293. Températ. 18°8 C = 11, 5290. Baromètr. 0^m,7523			EXPÉRIENCE N° 10. B = 0^k,4443. Températ. 15°3 C = 8, 1020. Baromètr. 0^m,7308		
	Espaces parcourus corrigés.	Durées observées corrigées de + 0,032.	Durées calculées.	Espaces parcourus corrigés.	Durées observées corrigées de + 0,066.	Durées calculées.	Espaces parcourus corrigés.	Durées observées corrigées de + 0,085.	Durées calculées.
	m	s	s	m	s	s	m	s	s
0,1	0,091	0,190	0,190	0,091	0,142	0,160	0,0913	0,700	0,70
0,2	0,183	0,266	0,269	0,183	0,211	0,227	0,1827	0,993	1,04
0,3	0,274	0,323	0,329	0,274	0,282	0,278	0,2740	1,222	1,28
0,4	0,366	0,375	0,381	0,366	0,333	0,320	0,3653	1,403	1,48
0,5	0,440	0,420	0,427	0,440	0,368	0,359	0,4567	1,571	1,66
0,6	0,548	0,473	0,470	0,548	0,409	0,392	0,5480	1,719	1,81
0,7	0,640	"	0,508	0,640	0,445	0,424	0,6393	1,862	1,96
0,8	0,731	0,540	0,544	0,731	0,472	0,455	0,7306	1,988	2,09
0,9	0,822	0,572	0,577	0,823	0,505	0,480	0,8220	2,118	2,22
1,0	0,913	0,604	0,608	0,914	0,533	0,507	0,9133	2,238	2,34
2,0	1,810	0,873	0,879	1,826	0,746	0,726	1,827	3,235	3,35
3,0	2,724	1,097	1,097	2,738	0,913	0,900	2,740	4,031	4,15
4,0	3,630	1,291	1,290	3,650	1,058	1,037	3,653	4,718	4,88
5,0	4,570	1,470	1,470	4,390	1,186	1,180	4,567	5,212	5,48
6,0	5,442	1,640	1,639	5,474	1,306	1,306	5,480	5,966	6,06
7,0	6,332	1,800	1,804	6,386	1,421	1,424	6,393	6,543	6,61
8,0	"	1,954	1,962	7,298	1,531	1,537	7,306	7,096	7,15
9,0	"	2,109	2,117	8,210	1,635	1,645	8,220	7,636	7,65
10,0	"	2,260	2,270	9,120	1,738	1,750	9,133	8,164	8,16

En résumé, les résultats des expériences dont on vient de rendre compte font voir : 1° que la résistance opposée par l'air au mouvement des corps plans ne dépend pas seulement du carré de la vitesse, mais qu'il existe des résistances qui en sont indépendantes, et que, pour des vitesses uniformes qui ne dépassent pas 9 mètres, la résistance que l'air, à la densité ordinaire, présente au mouvement d'un plateau carré de 1 mètre de côté, de faible épaisseur, et restant perpendiculaire à la direction du mouvement, est représentée par la formule Conclusions

$$R = 0^{kil},036 + 0,084\, v^2;$$

dans cette formule, la résistance R est exprimée en kilogrammes, et la vitesse en mètres parcourus pendant une seconde; 2° que, dans le mouvement varié, il existe une autre résistance qui dépend de l'accélération du mouvement et qu'elle est représentée, pour le même corps que précédemment, par l'expression

$$R = 0^{kil},036 + 0,084\, v^2 + 0,164\, \frac{dv}{dt}.$$

L'introduction du terme constant qu'il est nécessaire d'ajouter au terme proportionnel au carré de la vitesse, pour représenter la relation existant entre les résistances et les vitesses, fait voir qu'un corps qui se mouvrait horizontalement dans l'air finirait par s'arrêter entièrement, ce qui n'aurait pas lieu si la résistance ne dépendait que d'une puissance de la vitesse plus grande que l'unité. Ce terme constant sert à représenter les frottements de toute espèce que l'air exerce sur le corps, obligé qu'il est de circuler tout autour, pour lui faire place en passant de l'avant à l'arrière ; ce frottement existe, quelque lent que soit le mouvement, et peut bien être indépendant de la vitesse, comme cela a lieu Remarque.

pour les frottements des corps solides entre eux, et comme on l'a trouvé par l'expérience pour le mouvement de rotation de la poulie de l'appareil dans l'air. Cependant l'existence de ce terme peut donner lieu à une objection; c'est que si un plateau très-mince et d'un poids moindre que la partie constante de l'expression de cette résistance, était placé horizontalement dans l'air, il ne devrait prendre aucun mouvement, puisque le mouvement, quelque faible que fût la vitesse, développerait immédiatement, d'après la formule, une résistance passive plus grande que le poids du corps. A cela on peut répondre que le coefficient déterminé d'après la condition de représenter le mieux possible la relation existant entre les résistances et les vitesses, lorsque celles-ci ont déjà acquis une valeur notable, doit diminuer pour des vitesses beaucoup plus petites, et devenir à peine sensible pour des vitesses extrêmement faibles (*). Cette loi, qui contient un terme constant et un terme proportionnel au carré de la vitesse, s'applique d'ailleurs aux résistances que présentent au mouvement des corps l'eau et les milieux résistants, tels que les terres, le bois, la maçonnerie, etc.; on peut donc la regarder comme une loi générale tant que, au moins pour l'air et pour l'eau, les vitesses ne sont pas extrêmement petites.

On peut remarquer cependant que le mouvement des

(*) Les expériences faites par Coulomb, pour déterminer la cohérence des fluides et les lois de leur résistance dans les mouvements très-lents (*Mémoires de l'Institut,* tome III, art. 8), prouvent que, dans ce cas, pour des corps de très-faibles dimensions et pour des disques qui glissent suivant leur propre plan, la résistance peut être exprimée par une fonction de la première et de la seconde puissance de la vitesse; mais elles n'infirment en rien l'existence d'un terme constant pour le cas des corps d'une grande étendue et animés d'une vitesse notable : d'ailleurs, dans ces expériences, on n'a pas distingué les résistances qui naissent du mouvement varié dont les corps ont été constamment animés et que les nôtres ont fait ressortir; son influence a dû réagir sur l'expression de la résistance.



plateaux ayant eu lieu de haut en bas et à travers une ouverture du plancher d'un grand bâtiment, il a pu exister un léger courant d'air ascendant, quelque soin qu'on ait pris de fermer les portes et les fenêtres. Ce courant, peu appréciable aux moyens d'observation ordinaires, aurait eu le même résultat qu'une augmentation constante de vitesse dont on n'aurait pas tenu compte, et il se serait traduit par une exagération dans le terme constant. Cette considération tendrait à faire diminuer le terme 0,036, qui est résulté des expériences.

L'existence d'un terme qui dépend de l'accélération de la vitesse dans l'expression de la résistance que l'air présente aux corps animés d'un mouvement accéléré, est mise tout à fait hors de doute par nos expériences sur la chute des corps; et, sans le terme proportionnel à $\frac{dv}{dt}$, il ne serait pas possible de faire accorder les durées calculées et les durées observées entre elles, quelque valeur qu'on prît pour le coefficient du carré de la vitesse.

Remarque sur le terme proportionnel à l'accélération de la vitesse.

Le terme de la résistance proportionnel à l'accroissement de la vitesse dans la descente tient au phénomène observé par Dubuat (*Principes d'Hydraulique*, tome II, sections I et II, chapitres 7 et 1, et *Introduction à la Mécanique*, par M. Poncelet, 1839, deuxième édition, pages 537 et 584), et qui consiste dans l'existence d'une *poupe* fluide dont les corps sont toujours accompagnés lorsqu'ils se meuvent dans un fluide, laquelle masse devant prendre la vitesse du corps en mouvement, dont ils font pour ainsi dire partie, fait l'effet d'une masse additionnelle.

Résistance que l'air oppose au mouvement de descente des parachutes.

But des expériences sur le mouvement de descente des parachutes et procédés employés.

Les procédés et les instruments permettant d'observer le mouvement de descente rectiligne vertical des corps, on les a appliqués à la descente de parachutes dont la résistance n'avait pas encore pu être étudiée. On a aussi comparé le même corps se mouvant en sens contraire, c'est-à-dire le mouvement du parachute retourné.

Le faible poids du corps et l'étendue de sa surface ont permis d'obtenir des vitesses uniformes et de simplifier considérablement les calculs.

Pl. V, fig. 2.

Le parachute employé était composé d'une carcasse formée de baleines, placées deux à deux dans quatre plans inclinés à 45 degrés, assemblées sur une tige commune et assujetties par des arcs-boutants; cette carcasse était recouverte d'un taffetas fortement tendu, présentant ainsi la forme des parapluies ordinaires; le parachute était suspendu par l'extrémité supérieure de la tige qui traversait l'enveloppe; les poids additionnels étaient fixés à la partie inférieure. Lorsque le parachute n'était pas chargé de poids additionnels, il acquérait bientôt une vitesse sensiblement uniforme; mais le centre de gravité ne se trouvant pas assez au-dessous du centre de résistance, il n'y avait pas assez de stabilité dans la descente. L'application d'un poids à l'extrémité inférieure faisait cesser cet inconvénient. On fixa la flèche de courbure des côtes au moyen de cordons minces en soie, allant de l'extrémité de chaque baleine à la tige; dans cet état le parachute pesait 907 grammes; l'envergure était de $1^{m},336$, comptés suivant les côtes, et de $1^{m},200$ dans les intervalles; sa projection, prise perpendiculairement à la tige, était $1^{m^2},1987$; dans les premières expériences, la superficie était $1^{m^2},208732$. La longueur de

la tige, à partir du sommet de la cavité, était 885 millimètres, et la profondeur de la calotte, depuis le sommet jusqu'à la partie la plus échancrée des bords compris entre deux côtes, ou la flèche, était de 355 millimètres, ou $\frac{3}{10}$ du diamètre; elle était de 430 millimètres en la comptant jusqu'à l'extrémité des baleines.

Lorsque le mouvement est devenu uniforme, on a l'expression

$$R = B - R_1,$$

dans laquelle R_1 est la résistance de l'appareil, et R la résistance éprouvée par le corps et exprimée en kilogrammes. On a rapporté ces résistances à l'unité de superficie et à la densité ordinaire de l'air.

Les résultats du tracé de la loi du mouvement et de ces calculs sont contenus dans le tableau suivant :

Tableau des vitesses uniformes observées dans la descente d'un parachute.

NUMÉROS des expériences.	SUPERFICIE.	RÉSISTANCE ou valeur de $B-R_1$.	RÉSISTANCE rapportée à l'unité de superficie et à la densité ordinaire de l'air.	VITESSE uniforme observée.	VITESSE uniforme corrigée de la contraction du cordon.	PARTIE de la chute dans laquelle la vitesse uniforme a été observée.
	m2	kil	kil	m : s	m : s	m m
20	1,2087	0,861	0,710	1,768	1,756	1,10 à 2,40
21	*id.*	0,861	0,710	1,92	1,91	2,30 à 4,45
22	1,1987	1,321	1,125	2,55	2,54	2,00 à 4,60
23	*id.*	1,321	1,125	2,48	2,47	2,00 à 4,20
24	*id.*	1,809	1,532	3,14	3,12	2,56 à 4,20
25	*id.*	2,811	2,392	3,80	3,78	3,65 à 6,95
26	*id.*	2,822	3,253	4,215	4,19	3,65 à 4,10

En comparant les résistances au carré des vitesses, on voit qu'elles sont proportionnellement plus grandes pour les premières, c'est-à-dire que les résistances croissent

moins rapidement que le carré des vitesses, comme nous l'avons trouvé pour les surfaces planes; en prenant donc encore, pour représenter leur relation, une formule à deux termes, dont l'un soit constant et l'autre proportionnel au carré de la vitesse, on pourra conserver entre les coefficients le même rapport que pour les surfaces planes; la formule serait alors de la forme

$$\frac{R}{S} = A\,(0^{\text{kil}},036 + 0,084\,v^2),$$

dans laquelle R est la résistance exprimée en kilogrammes, S la projection de la surface du corps sur un plan perpendiculaire à la tige du parachute, v la vitesse exprimée en mètres parcourus dans une seconde, et A un coefficient qui dépend de la forme du corps, et qui doit être déterminé de manière à satisfaire le mieux à nos expériences; prenant, pour déterminer cette dernière valeur, l'expérience n° 25, dans laquelle la vitesse s'est tenue uniforme pendant un long espace, on aura $A = 1,936$, et pour l'expression de la résistance,

$$R = S \times 1,936\,(0^{\text{kil}},036 + 0,084\,v^2) = 0,070 + 0,163\,v^2.$$

Les vitesses observées et les vitesses calculées pour les résistances rapportées à l'unité de superficie sont consignées dans le tableau suivant :

RÉSISTANCE RAPPORTÉE à l'unité de superficie.	VITESSES calculées par la formule.	VITESSES OBSERVÉES.
kil	m s	m . s
0,710	1,98	1,756 1,91
1,125	2,546	2,54 2,47
1,532	3,000	3,12
2,392	3,78	3,78
3,253	4,42	4,19

Les différences ne sont que de $\frac{1}{25}$ à $\frac{1}{30}$ des vitesses observées dans chaque expérience; la dernière seule va jusqu'à $\frac{1}{20}$, mais cette vitesse n'a pu être déduite que d'un très-petit espace parcouru.

On peut donc regarder la formule précédente comme représentant assez exactement la loi des résistances et des vitesses.

La résistance que l'air présente au mouvement rectiligne d'une surface concave, dont la flèche est les $\frac{3}{15}$ du diamètre, est, comme on le voit, presque double de celle que représente une surface plane. On se rend facilement compte de cette augmentation, en remarquant que le fluide peut être plus comprimé et exercer une plus forte pression contre les parois intérieures sans s'échapper par les côtés, et que, par suite, la résistance que le corps doit éprouver dans son mouvement, est plus considérable que si la surface était plane.

Résistance de l'air sur un parachute renversé.

Dans l'expérience avec le parachute renversé, les poids ont été fixés du côté de la convexité, et le système a présenté une bien plus grande stabilité. Les vitesses et les résistances rapportées à l'unité de superficie, ramenées à la densité ordinaire de l'air, sont contenues dans le tableau suivant :

RÉSISTANCES rapportées à l'unité de superficie et à la densité ordinaire.	VITESSES UNIFORMES		PARTIE DE LA CHUTE dans laquelle le mouvement uniforme a été observé.
	Observées.	Corrigées de la contraction du cordon.	
kil	m : s	m : s	m m
1,125	4,23	4,205	De 6,26 à 8,70
1,532	4,865	4,835	De 6,12 à 9,10
2,392	5,99	5,95	De 6,95 à 8,80
3,253	6,96	6,92	De 7,70 à 9,50

En comparant les résistances aux vitesses, on voit que



les premières croissent à peu près comme le carré des secondes. En choisissant le coefficient A de manière à satisfaire à la seconde expérience où la vitesse uniforme a été observée sur la plus grande longueur, on a obtenu, pour la valeur de A, A = 0,768, et pour la formule de la résistance au mouvement de l'air d'un parachute renversé,

$$R = S.0,768(0^{kil},036 + 0,084v^2) = S(0,028 + 0,0652v^2).$$

La comparaison des vitesses calculées par cette formule et des vitesses observées est contenue dans le tableau suivant :

POIDS DU PARACHUTE rapporté à l'unité de superficie.	VITESSES	
	Calculées.	Observées.
kil	m : s	m : s
1,125	4,12	4,205
1,532	4,835	4,835
2,392	6,06	5,95
3,253	7,055	6,92

Les différences entre les résultats du calcul et de l'observation ne sont que de $\frac{1}{53}$ environ des vitesses, tantôt en plus, tantôt en moins, et la formule peut être adoptée pour exprimer les résistances que présentent les corps de cette espèce dans leur mouvement dans l'air. Cependant le terme constant pourrait être réduit par suite des considérations qu'on a exposées plus haut.

Comparaison de la résistance sur les surfaces convexes et concaves.

La comparaison de la résistance éprouvée par le même corps, lorsqu'il présente sa concavité ou sa convexité dans le sens du mouvement, fait voir combien la théorie de la résistance de l'air est inexacte, quand on considère l'action du fluide isolément sur les éléments de la surface, et qu'on ne tient pas compte de la manière dont les éléments voisins

réagissent, pour détourner de leur direction les diverses parties de la colonne d'air que déplace le corps dans son mouvement. En effet, cette surface, placée dans un sens, fait converger les filets du fluide vers l'intérieur, tandis que, dans l'autre, elle les fait diverger vers l'extérieur : l'une des dispositions comparée à une surface plane augmente la pression qu'exercent sur la surface du corps les couches d'air qui y sont immédiatement placées, tandis que l'autre disposition diminue les pressions, et par suite les résistances.

En opérant pour le mouvement varié du parachute, comme on l'a fait pour le plateau carré, on a obtenu, par la comparaison du calcul et de l'observation, des résultats renfermés dans le tableau suivant : Résistance de l'air dans le mouvement varié.

ESPACES PARCOURUS		DURÉES	
En circonférences de poulie de 0^m,914.	En mètres, corrigés de la contraction du cordon.	Observées et corrigées de $+0^s$,043.	Calculées $\frac{R}{S}=0{,}070+0{,}163\,v^2+0{,}142\,\frac{dv}{dt}$.
		s	s
0,1	0,0914	0,206	0,207
0,2	0,1828	0,287	0,291
0,3	0,2742	0,356	0,360
0,4	0,3656	0,405	0,417
0,5	0,4570	0,458	0,468
0,6	0,5484	0,503	0,516
0,7	0,6398	0,540	0,560
0,8	0,7311	0,588	0,601
0,9	0,8225	0,624	0,642
1,0	0,912	0,659	0,677
1,2	1,095	0,726	0,751
1,4	1,274	0,790	0,817
1,6	1,454	0,850	0,881
1,8	1,635	0,912	0,942
2,0	1,816	0,966	1,002
2,2	1,998	1,020	1,061
2,4	2,179	1,072	1,117
2,6	2,361	1,123	1,173
2,8	2,543	1,180	1,228
3,0	2,724	1,226	1,283
4,0	3,632	1,472	1,546
5,0	4,540	1,713	1,798

L'accord que l'on obtient ainsi pour une expérience isolée est aussi grand qu'on pouvait l'espérer.

Conclusions. Il résulte de ces expériences sur la descente du parachute, que des corps de cette forme, c'est-à-dire qui présentent une surface concave du côté vers lequel ils s'avancent, éprouvent de la part de l'air une résistance beaucoup plus grande que des surfaces planes, et que pour un diamètre de 1^m,20 et une flèche des $\frac{2}{10}$ du diamètre, le rapport de la

résistance est de 1,936, presque 2; au contraire, si le mouvement a lieu dans le sens opposé, la résistance serait 768 millièmes, environ $\frac{3}{4}$ de celle d'une surface plane; par suite, la résistance dans le sens de la concavité est deux fois et demie plus grande que lorsque la convexité est en avant.

Quand le mouvement est arrivé à l'uniformité, la résistance que l'air fait éprouver à ces corps croît avec les vitesses sensiblement de la même manière que pour les surfaces planes, et elle est alors représentée par la formule

$$R = S.1,936(0^{kil},036 + 0,084 v^2)$$

pour le parachute dans la position ordinaire; et par la formule

$$R = S.0,768(0^{kil},036 + 0,084 v^2)$$

pour le parachute renversé.

Résistance de l'air sur des plans inclinés.

On va rapporter ici les expériences faites en 1835 sur des plans inclinés et dont les résultats sont consignés dans le Rapport de 1836, afin de les relier avec ceux dont il vient d'être question. Moyens employés.

Dans ces expériences, deux plateaux en bois de 1 mètre de longueur et de 50 centimètres de largeur étaient réunis par une charnière placée sur leur long côté, de manière à former un carré de 1 mètre de côté lorsque les deux plans étaient rabattus, et à faire entre eux tous les angles qu'on voulait depuis 180 degrés jusqu'à 15 degrés. On les fixait dans l'une de ces positions et on les suspendait au cordon de soie qui s'enroulait sur la poulie de l'appareil; puis, on laissait descendre le corps, en observant la loi du mouvement

par les procédés déjà indiqués. Chaque expérience a été répétée au moins trois fois.

On a calculé ensuite la résistance que le corps avait éprouvée dans sa chute, d'après les durées observées de cette chute.

On ne rapportera ici que les résultats relatifs aux angles de 180 à 130 degrés, dans lesquels les durées ont été observées avec un chronomètre à pointage; les autres durées ayant été observées avec une montre à demi-seconde ne sont pas données avec assez de précision.

Les résultats des expériences et du calcul des résistances sont contenus dans le tableau suivant :

ANGLES des deux plans.	RÉSISTANCE RAPPORTÉE à celle qui a lieu sous l'angle de 180 degrés.
180°	1,000
175	0,996
165	0,865
160	0,856
155	0,846
140	0,773
135	0,737
130	0,728

Relation de la résistance à l'inclinaison des plans.

Les résistances, comme on va le voir, décroissent quand l'acuité des plans augmente; et si, pour saisir la relation qui existe entre ces quantités, on la représente par des points, en prenant les angles pour abscisses et les résistances pour ordonnées, on verra que les points sont, à quelques écarts près, sur une ligne droite qui passerait par l'origine des coordonnées et par le point qui correspond à deux angles droits; de sorte que la résistance, dans ce dernier cas, étant prise pour unité, celle qui aurait lieu pour un angle de a degrés sera égal à $\frac{a}{90}$. La comparaison des résistances

observées et calculées d'après cette loi est contenue dans le tableau suivant :

ANGLES que font chacun des deux plans avec la direction du mouvement.	RÉSISTANCES RAPPORTÉES à celle qui a lieu lorsque les plans sont perpendiculaires à la direction du mouvement.		
	Observées	Calculées.	Différences.
90°	1,000	1,000	0,000
87 ½	0,996	0,972	— 0,024
82 ½	0,865	0,917	+ 0,052
80	0,856	0,889	+ 0,033
77 ½	0,846	0,861	+ 0,015
70	0,773	0,778	+ 0,005
67 ½	0,737	0,750	+ 0,013
65	0,728	0,722	— 0,006

Les différences sont tantôt en plus, tantôt en moins, elles sont généralement assez faibles; l'une d'elles seule s'élève jusqu'à $\frac{1}{19}$. Il résulte de cette formule, que pour un angle de o degré la résistance serait nulle, ce qui doit être, lorsqu'on néglige le frottement et l'adhérence des couches d'air contre le plateau, frottement à peu près insensible sur des surfaces unies.

La résistance de l'air étant d'ailleurs proportionnelle à l'étendue de la superficie, et celle que l'air oppose au mouvement d'une surface plane qui reste perpendiculaire à la direction du mouvement, lorsque celui-ci est uniforme, étant

$$S = (0^{kil},036 + 0,084\, v^2),$$

on aura, pour le cas des deux plans qui présentent ensemble une superficie S,

$$R = S\,\frac{a}{90}\,(0^{kil},036 + 0,084\, v^2),$$

dans laquelle R est la résistance exprimée en kilogrammes, v est la vitesse du corps; cette formule ne donne pas le

maximum de la résistance pour $a = 90$ degrés. Les expériences ne s'étant étendues que jusqu'à cet angle, on ne saurait prétendre prolonger la formule beaucoup au delà ; mais la résistance serait certainement plus grande sur des plans qui présenteraient un angle dièdre rentrant, que sur une surface plane, comme l'indiquent les expériences faites sur les parachutes.

L'expression de la résistance des plateaux est à peu de chose près la même que pour des cylindres surmontés de cônes plus ou moins aigus ; elle en diffère par le coefficient qui provient des frottements et de l'adhérence du fluide sur les surfaces, résistances qui peuvent être négligées quand le fluide est un gaz et qu'il s'agit de corps de dimensions ordinaires.

VITESSE DE PROJECTION

ET

NOMBRE DES ÉCLATS DES PROJECTILES CREUX.

[Extrait du troisième Rapport de la Commission des principes du tir de l'École d'artillerie de Metz (*)].

Le résultat des expériences exécutées en 1835, à Metz, par la Commission des principes du tir, a été inséré dans le *Mémorial de l'Artillerie*, n° V.

Ce compte rendu a fait connaître la charge de poudre qui, par son explosion, produit la rupture des parois des projectiles creux de résistance moyenne; mais on n'a eu ainsi que le minimum des effets à attendre de ces projectiles. Il restait à rechercher les effets de l'explosion de charges de poudre plus considérables et variant depuis celles qui suffisent pour produire la rupture du projectile jusqu'à la charge qui en remplit complétement la capacité intérieure.

Dans les expériences dont on va rendre compte, on s'est attaché particulièrement à mesurer la vitesse de projection des éclats, comme pouvant servir à faire estimer les forces explosives des projectiles creux.

(*) La Commission qui a dirigé ces expériences entreprises à la fin de l'année 1840 était composée du chef d'escadron Peloux, président, des capitaines Didion, rapporteur, Péronnier, de Verely, Virlet et du lieutenant Boileau.

Pour mesurer cette vitesse de projection, on a fait l'application d'un principe qui ressort des expériences antérieures de la Commission; savoir, que dans un milieu résistant donné, tels que les terres, le plomb, etc., le volume de l'entonnoir formé par un projectile est toujours proportionnel à la force vive de ce mobile. Il en résulte qu'en faisant éclater un projectile creux à proximité d'un milieu pénétrable de résistance connue, et de façon que les éclats y produisent des entonnoirs dont on peut mesurer le volume, il est facile de déterminer la vitesse initiale de cet éclat.

Les projectiles sur lesquels on a opéré étaient des obus des calibres de 22, 16, 15 et 12 centimètres, de diverses épaisseurs et de la même espèce que les obus qui avaient été employés dans les expériences de 1835; ils ont été coulés aux forges de Hayange, en fonte truitée, au charbon de bois et au coke, de la qualité employée ordinairement à la fabrication des projectiles de l'artillerie. Les obus de 15 et de 16 centimètres, dont les parois avaient l'épaisseur en usage, étaient en fonte grise douce, d'une plus grande ténacité que la précédente et obtenue à l'air chaud avec du charbon de bois.

Les épaisseurs moyennes des parois des différents obus, mesurées sur les éclats, sont données dans le tableau suivant :

	ÉPAISSEUR (EN MILLIMÈTRES) DES OBUS DE			
	22^c	16^c	15^c	12^c
	mm	mm	mm	mm
Obus à parois très-minces	18,0	14,0	"	12,0
Obus à parois minces	22,5	17,0	16,0	16,0
Obus à parois en usage	26,0	25,0	19,5	18,0
Obus à parois épaisses	31,0	28,5	22,5	21,0
Obus à parois très-épaisses	"	"	28,0	"

Les expériences ont été faites dans un puits d'environ 2m,30 de diamètre, destiné à ce genre d'épreuves, au polygone de Metz. Les parois du puits ont été revêtues en madriers dans toute leur hauteur; la partie inférieure a été en outre garnie, jusqu'à 1m,30 du fond, d'une couche épaisse de terre argileuse, humectée et comprimée aussi uniformément qu'il a été possible de le faire; une ouverture latérale et une rampe donnaient entrée dans le fond du puits dont l'orifice était recouvert de plusieurs couches de corps d'arbres. L'obus sur lequel on opérait était placé dans l'axe du puits et suspendu au moyen d'un fil de fer, à une hauteur d'environ 1 mètre au-dessus du fond, de façon que la plus grande partie des éclats devait frapper la couche de terre argileuse qui garnissait les parois; on mettait le feu au moyen d'une longue mèche de communication.

Les éclats de projectile qui atteignaient la couche d'argile humide ne produisaient pas tous des entonnoirs réguliers. On choisissait dans le nombre ceux dont les sections rectangulaires ou triangulaires décroissaient progressivement jusqu'au fond, et dont il était facile de prendre les dimensions moyennes. On mesurait ces dimensions à l'orifice et au fond de l'entonnoir, et souvent au milieu, à l'aide d'un compas d'épaisseur en bois à doubles branches; on en déduisait le volume de l'entonnoir. On retirait ensuite tous les éclats pour les mesurer et les peser. On bouchait les trous avec de l'argile et l'on s'efforçait de remettre ces terres dans leur état primitif pour les expériences suivantes. Malgré ces précautions, il n'eût pas été possible de conserver l'homogénéité désirable dans tout le cours des épreuves, et les volumes des entonnoirs n'eussent pas été en rapport constant avec la force vive des éclats qui les auraient produits. Pour éviter cet inconvénient, on a tiré à côté de chaque entonnoir mesuré, un coup et parfois plusieurs coups de pistolet de cavalerie (modèle 1822 transformé) à la charge

constante de 1 gramme de poudre à mousquet, et l'on a mesuré le volume de l'entonnoir formé par la balle, ce qui ne présentait pas de difficulté. On a pu ainsi comparer les forces vives des projectiles et les volumes des entonnoirs.

Si on nomme V le volume de l'entonnoir produit par l'éclat, P le poids de cet éclat et U sa vitesse de projection à déterminer, v le volume de l'entonnoir de la balle, p le poids de cette balle et u sa vitesse connue, g étant la pesanteur, on a, d'après le principe précité des forces vives et en regardant la terre comme homogène pour les deux entonnoirs,

$$\frac{V}{\frac{P}{g}U^2} = \frac{v}{\frac{p}{g}u^2}, \quad \text{d'où} \quad U = u\sqrt{\frac{\left(\frac{V}{v}\right)}{\left(\frac{P}{p}\right)}},$$

c'est-à-dire que la vitesse de projection de l'éclat est égale à celle de la balle multipliée par la racine carrée du quotient du rapport des volumes par le rapport des poids respectifs de l'éclat et de la balle. Ces derniers rapports étant donnés directement par l'observation, la vitesse de projection de l'éclat s'en déduit facilement. D'après des expériences au pendule balistique, la balle du pistolet de cavalerie, du poids moyen de $25^{gr},5$, a une vitesse moyenne de 109 mètres par seconde; c'est la vitesse qu'on a prise pour chaque coup tiré, quoiqu'elle pût être variable d'un coup à l'autre.

Les expériences ont été commencées avec les obus de 12 centimètres, dont les effets étaient les moins considérables; on a continué avec les obus de 15 et de 16 centimètres, et l'on a fini par les obus de 22 centimètres, aux grandes charges. Les premières expériences ont présenté, sous le rapport de la mesure du volume des entonnoirs, quelques difficultés qui n'ont pas permis de faire des obser-

vations aussi complètes que pour les autres obus, de sorte qu'on n'a pas calculé la vitesse des éclats; mais on pourra la conclure des autres résultats; on donne seulement ici le nombre des éclats produits par des charges de différents poids.

Nombre des éclats produits par des obus de 12 centimètres.

DÉSIGNATION des obus.	POIDS des obus.	POIDS de la charge de poudre.	NOMBRE des éclats retrouvés.	OBSERVATIONS
	kil	kil		
En usage	4,000	0,160	19	
id.	4,000	0,160	18	
id.	4,005	0,200	17	
id.	4,005	0,200	23	
id.	3,990	0,200	26	
id.	4,017	0,240	27	
id.	4,018	0,240	25	
Parois minces.	2,980	0,300	29	Il est probable qu'un certain nombre de petits éclats n'a pas été retrouvé.
id.	2,980	0,400	16	

Pour les obus de 16 et 22 centimètres, des dimensions en usage, et pour l'obus de 15 centimètres d'une épaisseur intermédiaire entre les deux limites extrêmes, on a fait varier le poids des charges dans de plus grandes limites qu'avec les autres. Les résultats de ces expériences sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau du résultat des expériences faites sur l'explosion d'obus de 15, 16 et 22 centimètres de différentes épaisseurs et avec des charges de différents poids.

Désignation des obus: Calibres.	Désignation des obus: Parois	Poids des charges de poudre	Poids des obus.	Poids des éclats retrouvés	Poids des cinq plus gros éclats: 1er.	2e.	3e.	4e.	5e.	Poids moyen des éclats: Au-dessus de 100 gr.	Au-dessous de 100 gr.	De tous.	Nombre des éclats: Au-dessus de 100 grammes	Au-dessous de 100 gr.	Total.	Vitesse des éclats mesurée par le volume des entonnoirs dans les terres
		kil	kil	kil	kil	kil	kil	kil	kil	kil	kil	kil				mètres par seconde.
cent. 15	minces.	0,300	6,300	5,800	0,682	0,570	0,528	0,465	0,445	0,350	0,048	0,290	16	4	20	180 145 129 108 154 176
	id.	id.	6,305	5,741	0,462	0,379	0,372	0,362	0,340	0,256	0,060	0,339	22	2	24	149 138 133 140 117
	épaisses	id.	7,750	7,092	0,920	0,886	0,655	0,545	0,480	0,437	0,051	0,394	16	2	18	146 164 154 126 99 93
	id.	id.	7,730	7,209	0,670	0,643	0,610	0,590	0,560	0,356	0,075	0,343	21	10	31	171 175
	id.	0,400	7,800	6,548	0,828	0,625	0,490	0,472	0,410	0,297	0,032	0,211	21	10	31	286 265 286 311 156 200 206 149
	id.	id.	7,825	6,434	0,778	0,605	0,595	0,529	0,525	0,384	0,073	0,322	16	4	20	123 123 93 135 141
	id.	0,458	7,810	6,170	0,570	0,562	0,550	0,540	0,500	0,360	0,069	0,281	16	6	22	182 148 92 118
	id.	id.	7,791	6,887	0,770	0,700	0,508	0,501	0,470	0,396	0,049	0,344	17	3	20	141 117 150 178
	très-épaisses	0,305	9,072	9,048	1,205	1,090	0,935	0,915	0,780	0,595	0,040	0,503	15	3	18	94 117 124 97
	id.	id.	8,940	8,054	1,190	0,955	0,910	0,880	0,784	0,604	0,050	0,474	13	4	17	112 88 127 129

		kil	kil	kil	kil	kil	kil	kil	kil	kil	kil	kil				mètres par seconde
	fr.-minc	0,400	6,865	5,022	0,444	0,442	0,412	0,410	0,312	0,287	0,075	0,264	17	2	19	207 153 185 111
	id.	id.	8,881	5,556	0,510	0,491	0,382	0,348	0,329	0,238	0,055	0,179	21	10	31	155 156 106 112 146 169
	id.	1,100	6,830	4,809	0,430	0,390	0,370	0,302	0,285	0,205	0,051	0,141	20	14	34	283 155 265 247
	id.	id.	6,831	4,639	0,385	0,355	0,287	0,276	0,272	0,190	0,064	0,160	22	7	29	270 243 217 259
	minces.	0,400	7,956	5,771	0,825	0,755	0,515	0,475	0,390	0,368	0,049	0,289	15	5	20	155 119 171
	id.	id.	8,288	5,429	0,532	0,461	0,414	0,400	0,390	0,311	0,045	0,209	16	10	26	126 151 240 149
	id.	0,940	8,035	5,806	0,596	0,565	0,520	0,470	0,445	0,322	0,046	0,242	17	7	24	248 167 185 184
	id.	id.	7,980	5,275	0,475	0,385	0,340	0,320	0,315	0,220	0,066	0,171	21	10	31	272 167 259 252
ceul 16	enusage	0,400	10,620	8,841	1,570	1,490	0,780	0,755	0,689	0,548	0,082	0,520	16	1	17	155 147 142 108 135
	id.	id.	10,565	9,544	1,285	1,055	0,980	0,980	0,710	0,557	0,027	0,477	17	3	20	118 249 111 106 135
	id.	id.	id.	10,405	1,369	1,000	0,797	0,795	0,739	0,578	"	0,578	18	"	18	131 192 143 123 145
	id.	0,500	10,650	10,484	1,730	1,625	0,830	0,720	0,715	0,607	0,058	0,524	17	3	20	127 155 150 183 107
	id.	id.	id.	8,484	1,035	0,820	0,815	0,710	0,640	0,523	0,038	0,447	16	3	19	155 328 123 117 121
	id.	0,600	10,580	8,019	0,820	0,795	0,742	0,710	0,618	0,411	0,042	0,321	19	6	25	160 202 200
	id.	id.	10,590	10,280	1,200	1,070	1,050	0,840	0,668	0,605	"	0,605	17	"	17	177 105 111 138
	épaisses	0,400	11,510	10,017	1,215	1,070	1,029	0,940	0,930	0,555	0,019	0,501	18	2	20	302 175 127 168 141 161 103
	id.	id.	11,640	10,939	1,620	1,550	1,160	1,000	0,880	0,673	0,055	0,576	16	3	19	193 222 143 134
	id.	0,500	11,625	9,193	1,375	1,200	1,095	0,690	0,525	0,431	0,068	0,400	21	2	23	141 153 149 99
	id.	id.	11,509	10,997	1,135	1,068	0,855	0,845	0,660	0,540	0,054	0,435	18	5	23	169 140 137 96
	fr.-minc	0,700	16,100	13,385	1,450	1,274	1,045	0,950	0,795	0,573	0,057	0,496	23	4	27	194 110 218 97
	id.	id.	16,120	14,516	0,960	0,820	0,800	0,800	0,750	0,467	0,030	0,454	31	1	32	101 150 228
	minces.	id.	18,900	16,528	1,920	1,400	1,327	1,304	1,110	0,681	0,057	0,613	24	3	27	123 170 119 120
	id.	id.	18,800	15,567	1,370	1,262	1,150	1,140	1,099	0,614	0,079	0,556	25	3	28	82 158 103 87
	enusage	id.	22,200	20,237	1,860	1,800	1,799	1,648	1,640	1,190	"	1,190	17	"	17	104 80 103 74
	id.	id.	id.	19,249	2,109	1,960	1,840	1,720	1,410	0,868	0,050	0,770	22	3	25	110 82 101
	id.	1,000	22,100	18,569	1,770	1,400	1,200	1,185	1,185	0,767	0,042	0,663	24	4	28	168 187 73 210
	id.	id.	22,300	21,163	2,160	2,040	1,870	1,870	1,850	0,954	0,060	0,847	22	3	25	123 175 167 186 168
24	id.	1,500	22,200	20,053	1,940	1,500	1,500	1,400	1,270	0,712	0,042	0,647	28	3	31	203 113 116 155 184
	id.	id.	22,300	21,177	2,680	1,820	1,687	1,484	1,200	0,776	0,057	0,683	27	4	31	149 71 240 178 188
	id.	2,000	22,700	19,828	1,380	1,175	1,090	1,010	0,960	0,588	0,058	0,472	37	5	42	(2)
	id.	id.	21,800	13,768	2,056	1,125	0,875	0,815	0,716	(1)	"	"	"	"	"	185 216 484 105
	épaisses	0,700	25,100	24,510	3,150	2,840	2,070	1,770	1,770	1,359	0,055	1,290	18	1	19	88 76 105
	id.	id.	24,850	23,610	2,550	2,275	2,250	1,910	1,900	1,312	"	1,312	18	"	18	137 88 78
	id.	id.	24,685	23,561	2,330	2,075	2,065	2,000	1,900	1,302	0,042	1,224	18	3	21	150 93 109 328 148
	id.	id.	25,070	25,035	2,620	2,370	2,250	2,100	1,980	1,661	0,038	1,391	15	3	28	99 92 136 145

(1) Le poids des éclats retrouvés s'éloignait trop de celui de l'obus pour qu'on pût tenir compte du nombre des éclats et de leurs poids moyens.
(2) Les vitesses calculées avec cet obus ont été considérées comme des anomalies.

En examinant le tableau qui précède, on peut constater que les vitesses des éclats des projectiles creux obtenues au moyen des pénétrations dans les terres, varient entre elles dans des limites qui ne sont pas trop étendues relativement aux difficultés que présentait ce nouveau genre de recherches. On doit reconnaître en outre que les différences qui ressortent du tableau sont plus grandes que les différences qui existent entre les vitesses réelles. Cela provient premièrement, des inégalités des vitesses de la balle à chaque coup, qu'on suppose égales à la vitesse moyenne, la seule qu'on connaisse; secondement, des différences de l'état de la terre dans les parties où ont été formés l'entonnoir de l'éclat et l'entonnoir de la balle pris pour terme de comparaison; on peut voir cependant qu'aux petites charges des projectiles, les variations ne sont pas considérables et que les résultats d'expériences permettent d'apprécier la vitesse moyenne des éclats. Aux grandes charges qui remplissent la capacité intérieure de l'obus, il y a des différences très-grandes, qui tiennent sans doute à la manière inégale dont agissent sur le projectile les gaz formés par les parties de la poudre enflammées en premier lieu.

Le tableau suivant contient le résumé des résultats des expériences sur l'éclatement des obus de 15, 16 et 22 centimètres :

Désignation des projectiles. Calibre.	Désignation des projectiles. Espèce.	Épaisseur de paroi.	Poids de la charge de poudre.	Poids moyen. Des cinq plus gros éclats.	Poids moyen. Des éclats au-dessus de 100 gr.	Poids moyen. Des éclats au-dessous de 100 gr.	Poids moyen. De tous les éclats.	Nombre moyen d'éclats. Au-dessus de 100 gr.	Nombre moyen d'éclats. Au-dessous de 100 gr.	Nombre moyen d'éclats. Total.	Vitesse moyenne des éclats.	Observations
		mm	kil	kil	kil	kil	kil				m: s	
Obus de 15 cent.	Mince	16,0	0,300	0,460	0,303	0,054	0,265	19	3	22	143	
	Épais	22,5	0,300	0,656	0,347	0,063	0,318	18	1,5	19,5	141	
			0,400	0,586	0,340	0,052	0,267	18,5	7	25,5	100	
			0,458	0,567	0,378	0,059	0,312	16,5	4,5	21	141	
	Très-épais	28,0	0,300	0,964	0,600	0,045	0,489	14	3,5	17,5	111	
Obus de 16 cent.	Très-mince	14,0	0,400	0,408	0,268	0,065	0,222	19	6	25	150	
			1,100	0,335	0,198	0,058	0,150	21	10,5	31,5	242	
	Mince	17,0	0,400	0,516	0,340	0,047	0,249	15,5	7,5	23	159	
			0,940	0,443	0,271	0,056	0,206	19	8,5	27,5	217	
	En usage	25,0	0,400	1,000	0,561	0,036	0,525	17	1,33	18,33	143	
			0,500	0,964	0,565	0,048	0,485	16,5	3	19,5	157	
			0,600	0,851	0,508	0,021	0,463	18	3	21	156	
	Épais	28,5	0,400	1,139	0,614	0,037	0,538	17	6	23	170	
			0,500	0,939	0,486	0,061	0,418	19,5	3,5	23	136	
Obus de 22 cent.	Très-mince	18,0	0,700	0,964	0,520	0,044	0,475	27	2,5	29,5	157	
	Mince	22,5	0,700	1,308	0,648	0,068	0,590	24,5	3	27,5	120	
	En usage	26,0	0,700	1,782	1,029	0,025	0,980	19,5	1,5	21	93	
			1,000	1,653	0,860	0,051	0,755	23	3,5	26,5	162	
			1,500	1,648	0,744	0,050	0,665	27,5	3,5	31	160	
			2,000	1,123	0,528	0,058	0,472	37	5	42	248	Sur un obus seulement.
	Épais	31,0	0,700	2,209	1,414	0,034	1,279	17,25	1,75	19	145	

On peut déduire de ce résumé plusieurs conséquences importantes sur l'effet des projectiles creux.

Dans des projectiles de même calibre et de parois également épaisses, à mesure qu'on augmente la charge de poudre, le nombre des éclats va en croissant, et le poids moyen de ces éclats diminue ; à cet égard, l'expérience sur l'obus de 15 centimètres, à la charge de 458 grammes, qui remplissait la capacité intérieure, présente seule une anomalie, comparativement aux résultats obtenus avec des charges moindres. Dans les obus de même calibre, de même poids et de même épaisseur, la vitesse des éclats va en augmentant d'une manière sensible avec le poids de la charge de poudre.

Avec des charges égales de poudre, dans des projectiles d'épaisseurs différentes, le nombre des éclats diminue quand l'épaisseur augmente ; et, conséquemment, le poids moyen de ces éclats augmente d'une manière très-prononcée. La vitesse de projection des éclats va en diminuant quand l'épaisseur des parois augmente.

Si l'on considère la force vive dont les éclats sont animés, en multipliant le poids moyen des plus gros éclats par le carré de la vitesse divisé par la pesanteur, on trouve les résultats contenus dans le tableau suivant :

Tableau de la force vive des éclats des projectiles creux.

Obus de 15 cent. à $0^{kil},300$.				Obus de 16 cent. à $0^{kil},400$.				Obus de 22 cent. à $0^{kil},700$.			
Épaisseur.	Poids moyen	Vitesse.	Force vive.	Épaisseur.	Poids moyen	Vitesse.	Force vive	Épaisseur.	Poids moyen	Vitesse.	Force vive.
mm	kil	m:s		mm	kil	m:s		mm	kil	m:s	
16,0	0,460	143	955	14,0	0,408	150	940	18,0	0,964	157	2420
22,5	0,656	141	1330	17,0	0,516	159	1330	22,5	1,308	120	1920
28,0	0,964	111	1210	25,0	1,000	136	1890	26,0	1,782	93	1570
				28,5	1,139	155	2790	31,0	2,209	110	2730

Ces résultats font voir qu'en général, malgré quelques irrégularités, la force vive des plus gros éclats va en croissant avec l'épaisseur des parois.

Pour connaître l'effet complet de l'explosion de la charge de poudre dans les obus, on a déterminé la force vive totale qui est acquise par tous les éclats du projectile en les supposant animés d'une vitesse de projection égale à celle des éclats observés et dont le poids n'est autre que celui du projectile. Les résultats de cette comparaison sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau de la force vive des éclats des projectiles creux de divers calibres et de diverses épaisseurs.

obus de 15 cent. à $0^{kil},300$.			obus de 16 cent à $0^{kil},400$.			obus de 22 cent. à $0^{kil},700$.		
Poids.	Vitesse	Force vive.	Poids	Vitesse	Force vive.	Poids.	Vitesse	Force vive.
kil 6,303	m:s 143	13140	kil 6,873	m s 150	15766	kil 16,100	m:s 157	38423
7,740	141	15688	8,122	159	20933	18,850	120	27672
9,006	111	11312	10,583	136	19955	22,200	93	19574
			11,575	155	28253	24,928	110	30570

On voit par ces résultats que la force vive des éclats ne varie pas d'une manière bien marquée avec l'épaisseur des parois, et que les irrégularités, inévitables dans les expériences, l'emportent sur l'influence que pourrait avoir cette épaisseur; on peut donc ne pas en tenir compte.

Cela admis, si l'on compare entre eux les effets moyens, on reconnaît que dans les obus de 15, 16 et 22 centimètres, ayant des parois d'épaisseurs variées, les charges respectives de 300, 400 et 700 grammes de poudre ont produit des forces vives représentées par les nombres 13380, 21227 et 29105 qui croissent avec les poids et qui sont pour chaque

gramme de poudre 44,60, 53,07 et 41,58. Ces effets correspondent à une quantité de travail de $22^{kil},30$, $26^{kil},53$ et $21^{kil},79$ élevés à 1 mètre; ces quantités présentent des différences entre elles, et l'obus de 16 centimètres est celui dans lequel la poudre produit le plus d'effet : on trouve l'explication de cette différence dans le rapport de l'ouverture de la lumière qui, dans l'obus de 16 centimètres, est proportionnellement moindre que dans les deux autres obus.

On peut comparer les effets mécaniques de la poudre dans les projectiles creux aux effets analogues dans les armes à feu; ainsi, dans le fusil d'infanterie, la balle de $26^{gr},8$ reçoit, par l'effet d'une charge de poudre de 9 grammes, une vitesse initiale de 446 mètres par seconde, qui correspond à une force vive de 60 unités ou à une quantité de travail de 30 kilogrammes élevés à 1 mètre par chaque gramme de poudre. Dans le canon de campagne de 8, une charge de $1^{kil},225$ communique à un boulet de $4^{kil},02$ une vitesse initiale de 485 mètres par seconde; cet effet correspond à une force vive de 79 ou à une quantité de travail de $39^{kil},5$ élevés à 1 mètre.

L'effet mécanique de la poudre est donc moindre dans les projectiles creux que dans les fusils et que dans les bouches à feu les plus courtes; mais l'infériorité n'est pas très-grande comparativement aux fusils.

Les résultats que l'on vient d'exposer ont permis de déterminer, avec l'approximation nécessaire dans le service, le nombre, le poids moyen et la vitesse de projection des éclats des projectiles creux; vitesses qui jusqu'ici n'étaient nullement connues. Ils ont fourni aussi le moyen d'estimer les effets mécaniques de la poudre dans ces projectiles et de les comparer aux effets produits dans les armes portatives et dans les bouches à feu.

NOTICE

SUR LA

DÉTERMINATION DU CALIBRE DES BALLES SPHÉRIQUES

ET DES

CHARGES DE POUDRE DES ARMES A FEU PORTATIVES A CANON LISSE.

Le fusil d'infanterie entre en si grande proportion dans l'armement des troupes, que les mousquetons et les pistolets doivent nécessairement avoir le même calibre, ou du moins s'en rapprocher assez, sous ce rapport, pour recevoir la même balle, afin que l'on n'ait à confectionner et à distribuer, en campagne, qu'une seule espèce de cartouches. D'un autre côté, le calibre du fusil d'infanterie, lorsqu'on fait usage de la balle sphérique, ne peut varier que dans des limites assez restreintes; car, si l'on a intérêt à l'augmenter, en vue des effets que l'on veut obtenir, on est promptement arrêté par l'obligation de satisfaire aux conditions de longueur, de solidité et surtout de poids que doit remplir l'arme. Considérations générales sur le calibre.

Il est donc vrai de dire, d'une manière générale, que le calibre n'est pas arbitraire; qu'il est déterminé par les conditions auxquelles les armes portatives sont soumises; et, ce qui prouve cette assertion, c'est qu'il est à peu près

le même chez toutes les puissances de l'Europe, qui ne se sont certainement pas concertées à ce sujet.

Cependant, dans les limites admissibles, le calibre du fusil d'infanterie français, celui de la balle et le poids de la charge de poudre, ont éprouvé des variations dont il a paru intéressant de retracer rapidement les causes, en remontant seulement au modèle 1777.

Calibre du fusil d'infanterie, 1777-1842.

A cette époque et jusqu'en 1842, le calibre du fusil était de 17mm,48 (7 lignes 9 points); celui des mousquetons et du pistolet de cavalerie, de 17mm,11 (7 lignes 7 points). Par exception, le fusil d'artillerie, depuis fusil de dragon (*), a été classé, en 1816, au nombre des petites armes, et son calibre est descendu de 17mm,48 à 17mm,11.

La différence de 0mm,37 (2 points) laissée entre le calibre du fusil et celui des petites armes avait pour but d'augmenter la justesse, en diminuant le vent de ces armes destinées à fournir un feu moins rapide et moins prolongé.

En 1842 (**), les armes de 17mm,48 ont été portées au calibre de 18 millimètres; les armes de 17mm,11 au calibre de 17mm,60. La différence de calibre entre le fusil et les petites armes a, par cette modification, été portée de 0mm,37 à 0mm,40.

Le calibre du pistolet de gendarmerie n'a pas été modifié (***).

Poids et calibre de la balle de munition. 1777.

La balle du fusil d'infanterie modèle 1777 était de 18 à la livre :

Diamètre		16mm,54 (7lis 4pts).
Vent	Pour les fusils	0mm,94 (5 points),
	Pour les petites armes	0mm,54 (3 points).

(*) Décision ministérielle du 12 mars 1832.

(**) 6 mars 1842.

(***) Le pistolet de gendarmerie des divers modèles an IX, 1822, 1842, a 15mm,23 de calibre (6 lignes 9 points); ce calibre n'a pas varié jusqu'à ce jour.

Mais en 1792, pendant les premières guerres de la Révolution, la mauvaise fabrication des armes, la maladresse des faiseurs de cartouches, les dénonciations de ceux qui voyaient partout des crimes de haute trahison, obligèrent à n'employer que des balles de 20 à la livre :

Poids et calibre de la balle de munition. 1792.

Diamètre		15^{mm},98 (7^{lig} 1^{pt}),
Vent	Pour les fusils	1^{mm},50 (8 points),
	Pour les petites armes	1^{mm},13 (6 points).

On fit ainsi toutes les guerres de l'Empire. Les raisons qui avaient fait abandonner la balle de 18 à la livre n'existaient plus depuis longtemps; mais la rapidité des événements ne permettait pas les longues études, quelle que fût d'ailleurs l'importance des questions. Cependant, on ne se dissimulait pas qu'on était allé trop loin, et que l'on avait ainsi ôté, sans motif, à nos armes une partie de leur justesse. Aussi, en 1818, le Comité profita des premiers loisirs de la paix pour provoquer des expériences, dont le but était de fixer le calibre de la balle de munition, en conciliant, autant que possible, la facilité du chargement et les effets de tir.

On ne désigne plus les balles que par leur calibre. 1819.

Jusqu'alors, on avait spécifié la balle par son poids et non par son diamètre. Cette méthode était vicieuse en ce qu'elle se prêtait difficilement aux faibles variations. Entre la balle de 20 à la livre qu'on voulait abandonner, et celle de 18 qu'on ne voulait pas reprendre, il n'y avait que la balle de 19; car on ne pouvait pas admettre, en poids, un nombre fractionnaire. Il fut donc décidé, en 1819, pour se donner toute latitude, qu'à l'avenir les balles seraient désignées par leurs diamètres, et non plus par leurs poids. Le calibre se trouvait ainsi déterminé d'une manière positive et indépendante de la coulée du métal.

Balle de 16mm,3. 1827.

Après de nombreuses expériences, on adopta enfin (*) la balle de 16mm,35 (7 lignes 3 points):

Poids		25gr,60
Vent	Pour les fusils	1mm,13 (6 points),
	Pour les petites armes	0mm,76 (4 points).

Balle de 17 millim. 1842.

Quinze ans plus tard, en 1842, M. le colonel de Poncharra, inspecteur des manufactures d'armes, fit observer que le calibre du fusil français était un des plus faibles calibres en usage chez les diverses puissances; que cette infériorité en entraînait une fort importante dans les effets de tir; que c'était à cette cause surtout qu'il fallait attribuer la supériorité du feu de l'infanterie anglaise, supériorité assez généralement reconnue; et comme la transformation au système percutant obligeait à faire passer toutes les armes en manufacture, il proposait de profiter de cette circonstance pour porter le calibre du fusil d'infanterie à 18 millimètres, et celui de la balle à 17 millimètres.

Poids		29gr,00
Vent	Pour les fusils	1mm,00 (5 points),
	Pour les petites armes	0mm,60 (3 points).

Cette proposition fut adoptée le 6 mars 1842; et toutes les armes à feu portatives, en même temps qu'on les mit à percussion, furent alésées à un calibre de 0mm,5 plus fort que leur calibre primitif. Il faut excepter de cette mesure le mousqueton de cavalerie et le fusil de dragon, qui furent alésés à 17mm,8 au lieu de 17mm,6.

Par une prévoyance fort sage, on arrêta cependant que l'on ne confectionnerait de munitions avec la balle de 17 millimètres que lorsque tous les canons auraient été alésés. Il s'écoula donc plusieurs années avant que les troupes fissent

(*) 17 avril 1827.

usage de la nouvelle cartouche, et l'expérience était loin encore d'avoir prononcé son arrêt, lorsque la révolution de 1848 éclata.

Balle de $16^{mm},7$. 1848.

D'après des plaintes venues de l'armée d'Afrique sur les difficultés de chargement que l'on rencontrait avec les nouvelles munitions, et sans que le Comité de l'artillerie ait été consulté, le calibre de la balle fut alors (*) réduit de 17 millimètres à $16^{mm},7$.

Poids		$26^{gr},60$
Vent	Pour les fusils	$1^{mm},30$ (7 points),
	Pour les petites armes	$0^{mm},90$ (5 points).

Il résulte de cette décision qu'en définitive, on a augmenté de $0^{mm},5$ le calibre des armes neuves, ce qui les rend plus lourdes, et de la même quantité le calibre des armes transformées, ce qui affaiblit sensiblement le canon, pour le résultat insignifiant de donner 1 gramme de plus en poids à la balle.

Charges de poudre. 1777—1828.

La charge de poudre de la cartouche a dû naturellement être soumise à des variations analogues à celles qu'ont subies les calibres des armes et celui de la balle, depuis 1777 jusqu'à ce jour. Cependant, jusqu'en 1828, elle était restée invariablement fixée à $\frac{1}{40}$ de livre ($12^{gr},24$) pour les fusils et mousquetons, et à $\frac{1}{65}$ de livre ($7^{gr},53$) pour le pistolet de cavalerie, quoique, depuis le commencement des guerres de la Révolution, les conditions du tir eussent bien changé. La fabrication des armes avait fait de grands progrès; les calibres étaient plus exacts; la poudre à canon, employée pour les anciennes cartouches, avait été remplacée par la poudre à mousquet d'une plus grande puissance balistique. Le

(*) Décision ministérielle du 11 mars 1848.

poids de la balle avait été augmenté. Aussi se plaignait-on généralement de la violence presque intolérable du recul. Lorsqu'on adopta la balle de 16mm,3, il fallut donc s'occuper de déterminer la charge correspondant au nouveau projectile.

Détermination des charges de poudre.

Dans les recherches de ce genre, on doit toujours avoir en vue deux considérations principales : ne pas dépasser le recul que le soldat peut supporter sans fatigue, dans un tir rapide et prolongé ; ne pas diminuer inutilement l'effet balistique.

Le recul *s'apprécie* par le tir à l'épaule, et *se mesure* par le tir au fusil-pendule.

Comme le fusil-pendule indique l'effet dû aux pressions exercées pendant tout le trajet de la balle dans le canon, et non la pression exercée sur l'épaule du tireur à un moment déterminé, notamment la pression maximum, il ne fournit l'expression pratique du recul que quand on a préalablement cherché, par le tir à l'épaule, la charge maximum dont le soldat peut supporter les effets dans les circonstances ordinaires du service. En tirant alors, au fusil-pendule, avec la même charge et la même arme, l'expression du recul a un sens pratique et peut être prise comme terme de comparaison, quand on a à modifier un des éléments de la cartouche.

Dans la détermination des charges pour le tir des balles sphériques, on s'est toujours arrêté à la limite supérieure du recul que le tireur pouvait supporter, parce qu'il importe beaucoup que le projectile ait une grande vitesse initiale, à cause de la perte rapide de mouvement qu'il subit par suite de la résistance de l'air. La justesse du tir ne variant pas, du reste, d'une manière sensible dans les limites du recul que le soldat supporte aisément, on a toujours dû chercher à augmenter les effets balistiques, en tenant la charge de poudre la plus forte possible.

Les différentes Commissions qui ont fait des expériences sur les charges de poudre ont diversement mesuré les effets balistiques; elles les ont appréciés par la portée, par les pénétrations dans le bois, ou par le fusil-pendule.

La Commission de 1828 avait à déterminer l'espèce de poudre qui serait employée pour la cartouche d'infanterie et le poids de la charge. Elle prit, comme terme de comparaison, pour le recul et la portée, le fusil modèle 1777 corrigé, tiré avec la balle de 20 à la livre, et la charge de poudre à canon de $\frac{1}{40}$ de livre (12gr,24); la première condition à remplir devait être au moins de conserver tous les avantages du système que l'on voulait modifier, s'il n'était pas possible de les augmenter. Commission de 1828.

La Commission fit d'abord de nombreux essais comparatifs, soit à l'épaule, soit au fusil-pendule, avant d'adopter l'une des poudres à mousquet nouvellement proposées et de déterminer le poids de la charge. Elle avait choisi la portée pour mesurer les effets balistiques.

On plaçait l'arme sur un chevalet qui permettait de mesurer facilement l'angle sous lequel on visait. On tira ainsi, sous le même angle, le fusil modèle 1777 corrigé dans les conditions anciennes du tir, et le fusil modèle 1822 avec la charge en essai. Les balles étaient reçues sur une cible de 2 mètres de côté, établie à 150 et 200 mètres du canon, de manière que son centre fût à hauteur de la bouche. On regardait les portées comme égales, lorsque les coups tirés avec les deux armes, sous le même angle, étaient répartis au-dessus et au-dessous du centre de la cible, et que la moitié des coups au moins se trouvait au-dessus.

On fut amené ainsi à adopter la charge de 9gr,50 de poudre à mousquet, avec laquelle le recul était moindre et la portée plus grande qu'antérieurement. En y ajoutant la Cartouche d'infanterie à 10gr,52.

quantité de poudre nécessaire à l'amorce (*), la charge de la cartouche d'infanterie fut fixée à 10gr,52.

Pour déterminer les charges du fusil d'artillerie et des mousquetons, on s'imposa la condition de ne pas dépasser le recul du fusil d'infanterie. On voulut, en outre, qu'elles fussent une fraction simple de la cartouche d'infanterie, qui est la seule distribuée en campagne ; il faut donc que les soldats puissent la *saigner* facilement, et avec une certaine précision. C'est d'après ces considérations que furent adoptées les charges suivantes :

DÉSIGNATION DES ARMES.	QUANTITÉ de poudre composant la charge.	QUANTITÉ de poudre composant la cartouche.	RAPPORT avec la quantité de poudre de la cartouche d'infanterie.	NOMBRE de cartouches par kilogramme.
Fusil d'infanterie et de voltigeur....................	gr 9,50	gr 10,52	"	95
Fusil d'artillerie (aujourd'hui fusil de dragon)..........	6,90	7,93	3/4	126
Mousqueton de gendarmerie, mousqueton de cavalerie, pistolet de cavalerie.......	4,25	5,26	1/2	190
Pistolet de gendarmerie.....	1,65	2,00	"	500

Suivant la règle donnée alors, les soldats armés du fusil d'artillerie devaient jeter le quart, et les soldats armés de mousquetons et du pistolet de cavalerie, la moitié de la poudre de la cartouche d'infanterie, amorcer avec la cartouche ainsi réduite, et mettre le reste de la poudre dans le canon.

(*) On compte 1 gramme pour l'amorce, mais elle a été portée ici à 1gr,02 pour avoir une cartouche dont le poids soit une division à très-peu près exacte du kilogramme; quatre-vingt-quinze cartouches de 10gr,52 pèsent, à 6 décigrammes près, 1 kilogramme.

La Commission de 1828 fit tous ses essais pour les armes du modèle 1822, depuis peu de temps en service; l'espèce de la poudre étant changée ainsi que le poids des charges, elle eut à déterminer, dans ces nouvelles conditions, les règles de tir en deçà et au delà du but en blanc, et la hauteur des hausses qui devaient être ajustées sur la culasse, pour que le but en blanc des fusils et des mousquetons fût à 150 mètres, et celui du pistolet de cavalerie à 50 mètres : c'étaient les distances qui paraissaient alors les plus convenables.

Les hausses du tableau suivant furent calculées d'après l'angle de tir qui, pour chaque arme, pouvait porter la balle au but en blanc ou à 150 mètres :

	mm
Fusil d'infanterie	4,0
Fusil de voltigeur	3,7
Fusil d'artillerie	3,8
Mousqueton de gendarmerie	4,9
Mousqueton de cavalerie	2,4

En cherchant de même l'angle de tir pour les distances de 100, 125 et 175 mètres, on put calculer les hausses correspondant à ces distances et en déduire les règles pratiques de tir.

On voit qu'en 1828 on se servit du pendule balistique pour exprimer les effets du recul et pour classer les poudres en essai; mais que le plus grand nombre des résultats fut obtenu en tirant à l'épaule, ou sur un chevalet qui permettait de mesurer exactement l'angle de tir. La pensée dominante, qui a présidé à ces expériences, a été de rechercher la charge et l'angle de tir nécessaires pour obtenir une portée déterminée d'avance. La portée était réputée obtenue lorsque, en visant le centre du but, on avait le même nombre de coups au-dessus et au-dessous du centre de la cible établi à hauteur de la bouche de l'arme.

Lorsque la Commission de 1828 termina ses travaux, on s'occupait déjà depuis plusieurs années de la transformation des armes à silex au système percutant. Cette circonstance empêcha d'appliquer aux armes à silex modèle 1822 les hausses nécessaires, comme on l'a vu plus haut, pour porter le but en blanc à 150 mètres. On ajourna, et, de délai en délai, on arriva aux fusils à percussion modèle 1840.

Cartouche d'infanterie à 9 grammes. 1840.

L'inflammation plus rapide de la charge et la suppression presque absolue des pertes de gaz par la lumière des armes à percussion occasionnèrent une augmentation notable du recul, et conduisirent tout d'abord à réduire la charge de 50 centigrammes. En 1840, la cartouche à 9 grammes de poudre fut définitivement adoptée.

Cartouche d'infanterie à 8 grammes. 1842.

Lorsqu'en 1842, on prit le calibre de 18 millimètres avec la balle de 17 millimètres, l'augmentation de poids du projectile et la diminution du vent (1 millimètre au lieu de $1^{mm},13$) obligèrent encore à diminuer la charge, qui ne fut plus que de 8 grammes.

Commission de 1842.

La Commission nommée à cet effet constata que cette charge de 8 grammes maintenait le recul dans les limites antérieurement admises; elle procéda, comme en 1828, en employant le tir à l'épaule et le tir au fusil-pendule; dans ce dernier cas, elle prit pour expression du recul l'arc que parcourait le pendule.

Pour apprécier la portée, on tira à 300 et à 400 mètres les fusils des deux systèmes, et l'on mesura l'abaissement moyen des balles par rapport au point visé. Ces expériences donnèrent les résultats suivants :

DISTANCE.	DÉSIGNATION de l'arme.	CALIBRE.	CHARGE de poudre.	DISTANCE MOYENNE des coups au-dessous du point visé.
		mm	gr	m
400m	Fusil modèle 1840...	17,5	9,0	11,22
	Fusil proposé.......	18,0	8,0	9,76
300m	Fusil modèle 1840...	17,5	9,0	6,01
	Fusil proposé.......	18,0	8,0	4,40

Le fusil proposé avait donc une trajectoire plus tendue que le fusil modèle 1840.

Ce premier point acquis, on compléta les expériences sur la portée, en constatant les pénétrations à 400 et à 600 mètres. Les effets balistiques que l'on apprécia ainsi à diverses distances peuvent indirectement donner une mesure de la portée. On tira sur quatre rangs de panneaux de 20 millimètres d'épaisseur et espacés entre eux de 45 centimètres. Voici les résultats obtenus :

A 400 mètres.

Fusil modèle 1840.	Balles ayant atteint le troisième rang de panneaux.	56,88 p 100
	Balles ayant atteint le quatrième rang de panneaux.	19,26 p. 100
Fusil proposé.....	Balles ayant atteint le troisième rang de panneaux.	58,37 p. 100
	Balles ayant atteint le quatrième rang de panneaux.	23,85 p. 100

A 600 mètres.

Fusil modèle 1840.	Balles ayant atteint de plein fouet le premier rang de panneaux	4,00 p. 100
	Balles ayant atteint par ricochet le premier rang de panneaux	6,00 p. 100

Fusil proposé.	Balles ayant atteint de plein fouet le premier rang de panneaux	9,00 p. 100
	Balles ayant atteint par ricochet le premier rang de panneaux	1,09 p. 100
Fusil modèle 1840.	Balles ayant traversé le premier rang et laissé des empreintes sur le deuxième.	2,00 p. 100
Fusil proposé. . . .	Balles ayant traversé le premier rang et laissé des empreintes sur le deuxième.	5,00 p. 100

L'avantage, sous le rapport des effets, était donc encore reconnu en faveur du calibre de 18 millimètres.

Ces expériences motivèrent un rapport du Comité (*) favorable au changement de calibre, ce qui décida l'adoption du fusil modèle 1842 pour les armes neuves, et l'alésage de toutes les armes déjà fabriquées.

Les expériences de 1841 ne déterminèrent que la charge du fusil d'infanterie; elles constatèrent que le recul n'était pas augmenté et que les portées étaient plus grandes avec la balle de 17 millimètres et la charge de 8 grammes; mais on ne détermina pas les règles pratiques de tir comme on avait fait en 1828.

Commission de 1844. Une Commission fut nommée, en 1844, pour régler les charges des petites armes transformées; il lui était prescrit de prendre, comme terme de comparaison, les résultats obtenus par la Commission de 1828, et de ne pas dépasser, avec les armes transformées, le recul du modèle à silex correspondant.

On reconnut d'abord, par le tir à l'épaule et au fusil-

(*) [illegible] février 1842; approuvé le 6 mars 1842 par le Ministre.

pendule, que, pour satisfaire à cette condition, il fallait employer les charges suivantes :

	gr
Fusil de dragon et mousqueton de gendarmerie transform.	5,50
Mousqueton et pistolet de cavalerie transformés.........	3,00
Pistolet de gendarmerie transformé..................	1,50

Comme en 1841, les charges reconnues bonnes sous le rapport du recul, furent soumises au tir, pour mesurer, à diverses distances, la pénétration des balles. On tira sur deux panneaux de 32 millimètres d'épaisseur, espacés entre eux de 50 centimètres.

A 300 mètres, ils furent traversés par les balles du fusil de dragon et du mousqueton de gendarmerie transformés;

A 175 mètres, par la balle du mousqueton de cavalerie transformé;

A 75 mètres, par la balle du pistolet de cavalerie transformé qui, à 100 mètres, en traversa encore un.

Enfin la balle du pistolet de gendarmerie traversa, à 15 mètres, une planche de 27 millimètres d'épaisseur.

Ces résultats motivèrent l'adoption des charges essayées, qui cependant ne satisfaisaient pas à la condition d'être une fraction simple de la cartouche d'infanterie. Le Comité, dans son rapport, chercha à remédier à cet inconvénient en donnant la règle pratique à suivre pour saigner la cartouche d'infanterie, de manière à obtenir, à très-peu près, les charges qu'on venait d'adopter pour les petites armes.

La Commission de 1844, en recueillant les traces des balles sur des écrans de papier, dessina les diverses trajectoires données par les petites armes et en déduisit les règles de tir; du reste, ces trajectoires étaient telles, qu'à de courtes distances on pût donner comme règle unique de viser à la ceinture. Les portées paraissaient suffisantes pour la cavalerie : on adopta donc le travail de la Commission, qui est résumé dans le tableau suivant :

DÉSIGNATION DES ARMES.	CHARGE de poudre (*).	BUT en blanc.	PARTIES DU CORPS DE L'HOMME sur lesquelles il faut viser pour le frapper au milieu, à					
			25m	50m	75m	100m	125m	150m
Fusil de dragon transformé....	5,5 gr	95 m	"	Ceinture.	Ceinture.	Ceinture.	Poitrine.	A la tête.
Mousqueton de gendarmerie transformé....	5,5	100	"	id.	id.	id.	Estomac.	A la tête.
Mousqueton de cavalerie transformé.......	3,0	105	"	Genoux.	Genoux.	id.	Poitrine.	A la tête.
Pistolet de cavalerie transformé...........	3,0	95	Genoux.	Genoux.	Genoux.	id.	A la tête.	"
Pistolet de gendarmerie transformé......	1,5	"	"	"	"	"	"	"

(*) A défaut de cartouches spéciales pour les petites armes, réduire la cartouche d'infanterie de :

1/3 pour le fusil de dragon et le mousqueton de gendarmerie.
2/3 pour le mousqueton et le pistolet de cavalerie.

En comparant les travaux dont on vient de rendre compte, on voit que la Commission de 1844 et celle de 1841 ont mesuré la portée et l'efficacité du tir par les pénétrations. La Commission de 1828, au contraire, estimait la portée par l'angle de tir et par la charge nécessaires pour amener le même nombre de balles au-dessus et au-dessous du centre de la cible, placé à la hauteur de la bouche de l'arme. En 1841, on s'était contenté de deux points d'impact pour apprécier la trajectoire. En 1844, on avait dessiné la trajectoire tout entière, en déterminant les points d'impact sur des écrans de papier. Enfin, jusqu'alors, le fusil-pendule n'avait servi qu'à comparer les reculs par l'arc parcouru, et l'on avait demandé à la pratique, et non au calcul des vitesses initiales, une estimation de la puissance balistique des projectiles que l'on soumettait aux expériences.

Lorsque, en 1848, le calibre de la balle sphérique fut diminué de $0^{mm},3$, comme on l'a dit plus haut, ce qui donna la balle de $16^{mm},7$ en remplacement de la balle de 17 millimètres, une Commission fut immédiatement nommée pour déterminer les charges de poudre et les règles pratiques de tir des armes portatives dans ces nouvelles conditions. Commission de 1848.

La Commission de 1848 décida d'abord que la charge de 9 grammes serait essayée. En conséquence, on fit tirer, à l'épaule, la balle de 17 millimètres avec la charge de 8 grammes, et la balle de $16^{mm},7$ avec la charge de 9 grammes, dans le fusil modèle 1822 transformé et dans le fusil modèle 1842. Les effets du recul furent trouvés, à peu de chose près, égaux; il ne restait plus qu'à confirmer ce résultat par le fusil-pendule, avant d'adopter la charge de 9 grammes pour le fusil d'infanterie.

Quant aux autres armes, la Commission pensa avec raison qu'il ne convenait pas de s'astreindre à conserver exactement le même recul, et de sacrifier sans motif suf-

fisant le principe du fractionnement simple de la cartouche d'infanterie; elle ne suivit donc pas, sur ce point, la marche de la Commission de 1844, si ce n'est pour l'assimilation de charge entre le fusil de dragon et le mousqueton de gendarmerie. Elle adopta, comme base des essais, les trois quarts de la charge du fusil d'infanterie, ou $6^{gr},75$, pour le fusil de dragon et le mousqueton de gendarmerie, et la moitié, ou $4^{gr},50$, pour le mousqueton de cavalerie.

On avait jusque-là donné la même charge au mousqueton et au pistolet de cavalerie, afin de simplifier l'instruction des hommes qui font usage de ces deux armes. Mais la Commission de 1848 trouva cette charge trop forte pour le pistolet qui est tiré d'une seule main, et proposa de la réduire au tiers de la cartouche d'infanterie ou à 3 grammes. Cette diminution de charge jointe à l'augmentation du vent atténua très-sensiblement le recul du pistolet.

Le fusil double modèle 1850 (autrefois de *voltigeur corse*) a un poids un peu supérieur à celui du fusil d'infanterie; mais le vent n'est que de $0^{mm},8$, au lieu de $1^{mm},3$. Cette espèce de compensation permit d'essayer la même charge avec les deux armes. Comme il n'y avait rien de changé pour le pistolet de gendarmerie, qui a une balle spéciale, on s'en tint aux expériences de 1844, et l'on conserva la charge de $1^{gr},5$.

Ces diverses charges, essayées d'abord à l'épaule, réalisèrent les prévisions de la Commission. En général, le recul fut trouvé très-supportable, et à peu de chose près égal à celui du fusil d'infanterie ou des armes analogues tirées avec l'ancienne balle. Le fusil double modèle 1850 parut avoir un recul un peu plus fort que celui du fusil d'infanterie, ce qui est à peu près sans inconvénient, parce que cette arme n'est pas destinée à fournir un feu rapide et prolongé.

Les charges essayées par le tir à l'épaule paraissant donc pouvoir être adoptées, il ne restait plus qu'à mesurer le recul d'une manière précise pour le comparer à celui des mêmes armes dans les anciennes conditions du tir. On exécuta, à cet effet, des expériences au fusil-pendule avec les diverses armes, en employant les balles de 17 millimètres et celles de $16^{mm},7$, les charges anciennes et celles qui étaient en essai. Le fusil d'infanterie seul fut tiré avec chacune des deux balles aux charges de 8 grammes, $8^{gr},50$, 9 grammes, $9^{gr},50$ et 10 grammes.

Les précautions les plus minutieuses furent prises pour obtenir des résultats comparables. La position des armes sur la suspension du pendule, le calibre des balles, le poids de la charge, la manière de la faire parvenir dans le fond de l'âme furent l'objet d'une attention toute particulière. L'arme était chargée avec de la poudre à mousquet, et la balle entourée du papier de la cartouche, d'après les prescriptions réglementaires.

Pour rester très-exactement dans les conditions du tir des armes à percussion, le chien était tenu au bandé par une ficelle, fixée en un point de la crosse, et l'on déterminait le départ en brûlant cette ficelle avec une tige de fer rouge. Ainsi le choc sur la cheminée étant produit par une force inhérente au système, ne changeait pas le mouvement du centre de gravité, et le fusil prenait son mouvement dans les conditions du tir ordinaire.

Les résultats des expériences faites ainsi avec les diverses armes portatives sont reproduits dans le tableau suivant; ils ont été calculés sur dix coups et en sont la moyenne.

Résultats moyens des expériences faites en juillet 1848, au pendule balistique de la poudrerie du Bouchet, pour déterminer les vitesses initiales des balles de 17 millimètres et de 16mm,7 dans les diverses armes à feu portatives avec différentes charges de poudre ordinaire de mousqueterie.

(Moyennes sur dix coups.)

NUMÉRO d'ordre	DÉSIGNATION DES ARMES.	CALIBRE à la bouche	LONGUEUR de l'âme	DIAMÈTRE de la balle.	POIDS de la balle.	POIDS de la charge	VITESSE initiale de la balle.	PRODUIT DE la vitesse du recul par le poids du pendule.	POIDS de l'arme	VITESSE de recul de l'arme supposée libre	OBSERVATIONS
		mm	mètres	mm	gr	gr	m.s	k.m.s	kil	m.s	
1	Fusil d'infanterie mod. 1822 transf.	18,00	1,060	16,7	26,90	8,00	430,3	17,64	4,605	3,84	
2	id.	id.	id.	id.	26,81	8,50	434,9	18,12	id.	3,94	
3	id.	id.	id.	id.	26,81	9,00	455,2	19,03	id.	4,14	
4	id.	id.	id	id.	26,85	9,50	458,6	19,92	id.	4,33	
5	id.	id.	id	id.	26,85	10,00	481,2	20,51	id.	4,46	
6	id.	id.	id.	17,0	28,84	8,00	446,4	19,01	id.	4,13	
7	id.	id.	id.	id.	28,91	8,00	443,6	19,18	id.	4,17	
8	id.	id.	id.	id.	28,89	8,50	461,9	19,64	id.	4,26	
9	id.	id.	id.	id.	28,88	9,00	467,5	20,26	id.	4,40	
10	id.	id.	id.	id.	28,83	10,00	493,1	21,73	id.	4,72	
11	Fusil d'infanterie modèle 1842.....	id.	id.	16,7	26,82	9,00	462,9	18,79	4,572	4,11	
12	id.	id	id.	id.	26,68	9,00	471,2	18,99	id.	4,15	

		mm	mètres	mm	gr	gr	m.s	k.m.s	kil	m.s
13	Fusil de voltigeur mod. 1822 transf.	18,00	1,010	16,7	26,76	8,00	435,5	19,67	4,488	3,93
14	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*	26,69	9,00	469,9	19,06	*id.*	4,24
15	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*	26,77	9,00	465,4	18,86	*id.*	4,20
16	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*	26,77	10,00	473,1	20,33	*id.*	4,53
17	Fusil de voltigeur modèle 1842	18,05	*id.*	*id.*	26,85	9,00	444,2	18,83	4,455	4,24
18	Fusil double (*de voltigeur corse*)	17,80	0,780	*id.*	26,70	8,00	423,0	18,34	4,660	3,94
19	*id.*	*id*	*id.*	*id.*	26,70	9,00	451,0	20,02	*id.*	4,30
20	Fusil de dragon modèle 1822 transf.	17,90	0,908	*id.*	26,82	6,75	394,6	15,84	3,350	4,73
21	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*	26,79	6,00	379,1	14,61	*id.*	4,37
22	*id.*	*id.*	*id.*	17,0	28,9[illegible]	6,00	397,6	15,76	*id.*	4,71
23	Fusil de dragon modèle 1842	18,10	0,904	16,7	26,69	6,75	384,3	15,26	3,900	3,92
24	Mousqueton de gendarmerie transf.	17,80	0,738	*id.*	26,59	6,75	402,7	15,91	3,500	4,55
25	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*	26,[illegible]	6,00	365,7	14,17	*id.*	4,05
26	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*	26,63	4,50	318,8	11,66	*id.*	3,33
27	Mousqueton de cavalerie transfor.	17,90	0,483	*id.*	26,66	4,50	280,5	10,20	2,300	4,36
28	*id.*	*id.*	*id.*	17,0	29,03	4,00	283,6	10,48	*id.*	4,56
29	Pistolet de caval. mod. 1822 transf.	17,65	0,208	16,7	26,71	3,00	177,7	7,10	1,220	5,82
30	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*	26,70	4,50	215,3	9,57	*id.*	7,84
31	*id.*	*id.*	*id.*	17,0	28,92	4,00	219,0	9,71	*id.*	7,95
32	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*	28,92	3,00	167,0	7,23	*id.*	5,93
33	Pistolet de gendarmerie	15,40	0,114	14,7	18,36	2,00	159,6	"	0,673	"
34	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*	18,36	1,50	150,0	"	*id.*	

* Calculée d'après l'expérience à la charge de 2 grammes.

Les premières colonnes du tableau qui précède sont suffisamment claires pour dispenser de toute explication; on arrêtera seulement l'attention sur les trois dernières. La première de celles-ci contient le produit de la vitesse du recul par le poids du pendule. Ce produit est proportionnel à la quantité de mouvement imprimé à l'appareil, et reste sensiblement le même, quel que soit le poids du pendule; ce serait encore vrai, si le pendule était réduit à l'arme suspendue à un fil. En divisant donc les nombres de cette colonne par le poids des armes, qui est en regard, on obtient les vitesses de recul de ces armes, c'est-à-dire la vitesse avec laquelle l'arme librement suspendue frapperait l'épaule du tireur, qui ne serait pas en contact immédiat avec la plaque de couche.

Les vitesses initiales ci-dessus sont déduites directement de l'amplitude du recul du pendule balistique; mais la pression des gaz et le choc de quelques grains de poudre non comburés ne sont pas des forces négligeables à la petite distance qui sépare le récepteur de la bouche de l'arme. Le tir à poudre et sans balle le prouve suffisamment. D'un autre côté, on n'a ainsi que la vitesse du projectile au point frappé; pour avoir une exactitude rigoureuse, il faut tenir compte de la perte éprouvée dans l'air entre la bouche du canon et le récepteur. Ces deux causes agissent en sens inverse, mais la première l'emporte sur la seconde; en définitive, elles donnent lieu à des corrections qui ont été apportées aux vitesses contenues dans le tableau suivant :

DÉSIGNATION DES ARMES.	POIDS des armes	AVEC LA BALLE DE $16^{mm},7$.			AVEC LA BALLE DE 17^{mm}.			OBSERVATIONS.
		POIDS de la charge	VITESSE de la balle.	VITESSE du recul.	POIDS de la charge	VITESSE de la balle.	VITESSE du recul.	
	kil	gr	m:s	m:s	gr	m:s	m:s	
Fusil d'infanterie modèle 1822 transformé	4,605	8,00	422	3,83	8,00	438	4,13	
id	id.	8,50	432	3,98	8,50	451	4,27	
id	id.	9,00	446	4,13	9,00	463	4,41	
id	id.	9,50	460	4,39	9,50	474	4,56	Poids moyen des balles,
id	id.	10,00	471	4,46	10,00	485	4,70	$17^{mm},0$ .... $28^{gr},9$
Fusil de dragon modèle 1822 transformé	3,350	6,75	388	4,73	"	"	"	$16^{mm},7$ .... $26^{gr},8$
id	id.	6,00	373	4,37	6,00	392	4,71	Pistolet de gendarmerie . $18^{gr},3$
Fusil de dragon modèle 1842	3,900	6,75	378	3,92	"	"	"	Ces poids répondent à des densités
Mousqueton de gendarmerie transformé	3,500	6,75	400	4,55	"	"	"	de 11,2,— 11,0,— 11,0.
id	id.	6,00	362	4,05	"	"	"	
id	id.	4,50	318	3,33	"	"	"	
Mousqueton de cavalerie modèle 1822 transformé ..	2,300	4,50	280	4,36	4,00	283	4,56	
Pistolet de cavalerie transformé	1,220	4,50	215	7,84	4,00	219	7,95	
id	id.	3,00	178	5,82	3,00	167	5,93	

L'examen comparatif des vitesses de la balle et du recul montre que les charges essayées d'abord à l'épaule donnent des effets à peu de chose près égaux à ceux que l'on obtenait dans les anciennes conditions du tir.

En outre, si l'on met en regard les vitesses de recul, le poids des charges et des armes, comme dans le tableau suivant, on remarquera que les charges décroissant avec le poids des armes donnent des vitesses de recul qui diffèrent peu les unes des autres.

Tableau des vitesses de recul des diverses armes avec la balle de 16mm,7.

DÉSIGNATION DES ARMES.	POIDS des armes.	POIDS des charges.	VITESSE de recul.
	kil	gr	m s
Fusil d'infanterie modèle 1822 transformé.	4,600	9,00	4,13
Fusil de dragon modèle 1822 transformé...	3,350	6,75	4,73
Mousqueton de gendarmerie modèle 1825 transformé..........	3,500	6,75	4,55
Mousqueton de cavalerie modèle 1822 transformé............	2,300	4,50	4,36

Cartouche d'infanterie à 9 grammes.

Les résultats des expériences à l'épaule et au fusil-pendule ayant prouvé que les charges essayées par la Commission donnaient des vitesses initiales suffisantes, sans pour cela produire des reculs trop forts, ces charges ont été définitivement adoptées.

Afin de faire mieux saisir l'ensemble des modifications successives qu'ont subies le calibre des armes, le diamètre des balles et le poids des charges de poudre, on les a résumées et comparées dans le tableau suivant :

Tableau comparatif du poids des charges de poudre avec les divers modèles d'armes.

Désignation des armes et des modèles.		Poids de l'arme.	Calibre de l'arme	Diamètre de la balle.	Vent	Poids de la balle.	Poids de la charge.
		kil	mm	mm	mm	gr	gr
Fusil d'infanterie et de voltigeur.	Modèle 1777 corrigé à silex	4,640	17,48	16,70	0,78	27,0 (1)	11,20(1)
	Modèle 1777 corrigé et modèle 1816 *id.*	4,640	17,48	16,00	1,48	24,2 (2)	11,20
	Modèle 1822 à silex	4,680	17,48	16,35	1,13	25,6 (3)	9,50
	Modèle 1822 à percussion non alésé	4,600	17,50	16,30	1,20	25,6	9,00
	Modèle 1822 transformé et modèle 1842	4,600	18,00	17,00	1,00	29,0	8,00
	Modèle 1822 transformé (balle nouvelle)	4,600	18,00	16,70	1,30	27,0	9,00
Fusil de dragon.	Modèle 1822 à silex (avec baïonnette)	3,950	17,11	16,35	0,76	25,6	6,90
	Modèle 1822 transf. (sans baïonnette)	3,350	17,80	17,00	0,80	29,0	5,50
	Modèle 1842	3,900	18,00	17,00	1,00	29,0	5,50
	Modèle 1822 transf. et balle nouvelle	3,350	17,80	16,70	1,10	27,0	6,75
	Modèle 1842 *id.*	3,900	18,00	16,70	1,30	27,0	6,75
Mousqueton de gendarmerie.	Modèle 1825 à silex avec baïonnette	3,680	17,11	16,35	0,76	25,6	4,25
	Modèle 1825 transformé et 1842	3,500	17,60	17,00	0,60	29,0	5,50
	Modèle 1825 transf. et balle nouvelle	3,500	17,60	16,70	0,90	27,0	6,75
Mousqueton de cavalerie.	Modèle 1822 à silex	2,440	17,11	16,35	0,75	25,6	4,25
	Modèle 1822 transformé	2,300	17,60	17,00	0,60	29,0	3,00
	Modèle 1822 transformé (balle nouvelle)	2,300	17,60	16,70	0,90	27,0	4,50
Fusil double (*de voltigeur corse*)		4,660	17,50	17,00	0,50	29,0	8,00
		4,660	17,50	16,70	0,80	27,0	9,00
Pistolet de cavalerie.	Modèle 1822 à silex	1,300	17,11	16,35	0,75	25,6	4,25
	Modèle 1822 transformé	1,220	17,60	17,00	0,60	29,0	3,00
	Modèle 1822 transf. et balle nouvelle	1,220	17,60	16,70	0,90	27,0	3,00
Pistolet de gendarmerie.	Modèle 1822 à silex	0,670	15,20	14,70	0,50	18,4	1,65
	Modèle 1822 à percussion	0,670	15,20	14,70	0,50	15,4	1,50

(1) 18 à la livre et poudre à canon. (2) 20 à la livre. (3) 19 à la livre.

Règles de tir des différentes armes.

La Commission de 1848 avait aussi à donner les règles pratiques de tir des différentes armes.

Pour cette partie des expériences, les balles étaient reçues sur une cible carrée de 4 mètres de côté, divisée en carrés de 1 décimètre de côté; il était ainsi facile d'avoir les coordonnées du point d'impact, par rapport au point visé.

La moyenne entre les coordonnées horizontales donnait l'écart latéral ou la déviation. La moyenne entre les ordonnées verticales était la hauteur du point d'impact, ou la hauteur de la trajectoire par rapport au point visé.

On tira sur appui avec deux fusils employés alternativement par un seul homme, assis, qui recevait les armes toutes chargées; l'appui était un sac rempli de terre disposé sur un plateau que l'on mettait à la hauteur convenable au moyen d'une vis de rappel.

Les moyennes des points d'impact furent prises, en général, sur des salves de quarante coups. On tira au moins deux cents coups à chacune des distances, sauf à 25, 50 et 75 mètres, où les coups ne furent pas aussi nombreux, à cause de la régularité du tir.

A 300 et 400 mètres, le tir devint très-irrégulier; néanmoins les résultats parurent suffisamment exacts, parce qu'ils ne donnèrent lieu à aucune anomalie dans le tracé de la trajectoire.

On fit d'abord les expériences avec les cartouches telles qu'elles sortent des magasins de l'artillerie, mais on reconnut bientôt qu'il y avait quelques variations dans le poids de la poudre. Pour éviter cette cause d'irrégularité dans le tir, elles furent dès lors pesées une à une. Le tableau suivant prouve que de petites différences en plus ou en moins dans les poids des charges n'influent pas sur les moyennes :

Tableau des hauteurs moyennes des points d'impact de la balle de 16mm,7 tirée à la charge de 9 grammes dans le fusil d'infanterie modèle 1822 transformé.

(Les hauteurs sont rapportées au point visé sur la cible.)

DISTANCES DU BUT		25m	50m	75m	100m	125m	150m	175m	200m	250m	300m	400m
		m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
Hauteurs moyennes des points d'impact par séries de 40 coups (*).	Avec les cartouches ordinaires.	"	"	"	+0,031	−0,331	−0,342	−0,800	−0,543	"	"	"
		"	"	"	+0,018	+0,035	−0,213	−0,667	−1,700	"	"	"
		"	"	"	−0,128	−0,264	−0,131	−0,901	−1,389	"	"	"
		"	"	"	−0,117	−0,235	−0,438	"	−0,655	"	"	"
		"	"	"	−0,025	"	−0,468	"	"	"	"	"
		"	"	"	+0,111	"	"	"	"	"	"	"
	Moyennes...	"	"	"	−0,029	−0,199	−0,318	−0,793	−1,072	"	"	"
	Avec les charges pesées.	+0,041	+0,091	+0,190	−0,210	−0,262	−0,291	−0,733	−1,293	−2,910	−4,700	−10,350
		+0,052	"	+0,058	+0,089	−0,271	−0,672	−0,476	−1,292	−2,540	−5,050	−13,350
		"	"	"	−0,008	−0,262	−0,727	−1,079	−0,941	"	"	"
		"	"	"	+0,146	−0,138	−0,566	−0,642	−0,158	"	"	"
		"	"	"	−0,193	+0,083	−0,338	−0,578	"	"	"	"
		"	"	"	+0,202	"	"	"	"	"	"	"
	Moyennes ..	−0,046	+0,091	+0,124	−0,003	−0,170	−0,519	−0,702	−0,921	−2,730	−4,875	−11,850
Moyennes générales...		+0,046	+0,091	+0,124	−0,016	−0,183	−0,419	−0,736	−1,000	−2,730	−4,875	−11,850

(*) Excepté aux distances de moins de 100 mètres, où le nombre des coups tirés a été réduit à dix par série.

Pl. VI. Les hauteurs moyennes des points d'impact, prises pour ordonnées sur des perpendiculaires à la ligne de mire, ont permis de tracer une courbe régulière et continue qui représente la trajectoire. On voit, par ce tracé, que le but en blanc du fusil d'infanterie modèle 1822 transformé est à 100 mètres, et qu'à 200 mètres le point d'impact s'abaisse à $1^{m},15$ au-dessous de la ligne de mire.

Ces deux points suffisent pour déterminer, d'après les lois de la résistance de l'air, la vitesse initiale et l'angle de projection, c'est-à-dire l'angle que fait à la bouche de l'arme, la trajectoire avec la ligne de mire.

Si l'on prend pour base du calcul les expériences faites à Metz, en 1839 et 1840, au moyen du pendule balistique, sur des boulets de divers calibres, on arrive à une vitesse initiale de $449^{m},6$ et à un angle de projection ayant pour tangente $0^{m},00331$.

La vitesse initiale calculée ainsi s'accorde, à 1 mètre près, avec celle qui résulte des observations faites au pendule balistique; mais l'angle de projection n'est pas égal à l'angle de mire. Les dimensions de l'arme ont donné, pour la tangente de l'angle de mire, $0^{m},00408$ (*); il en résulte que la différence est de $0^{m},00077$, ou que l'angle de projection à la bouche est plus petit que l'angle de mire, et que le tir s'est effectué comme si, la balle sortant suivant l'axe, le guidon eût été abaissé d'une quantité égale à $0^{m},00077$ multiplié par la distance du cran de mire de la hausse au guidon.

Cette différence entre les deux angles peut tenir, soit à un abaissement de l'arme par l'action du doigt du tireur sur la détente, soit à l'irradiation du guidon par la lu-

		m
(*) Distances de l'axe du canon	au fond du cran de mire..	0,0203
	au sommet du guidon..	0,0162
Distance du cran de mire au guidon...		1,0035

mière; peut-être, enfin, la balle ne sort-elle pas suivant la direction de l'axe du canon, comme on l'observe dans le tir des bouches à feu?

Quoi qu'il en soit, si l'on se sert de la vitesse initiale et de l'angle de projection déduits par le calcul des ordonnées à deux distances, on obtient par le même moyen les autres ordonnées de la trajectoire contenues dans le tableau suivant:

DISTANCES.	ORDONNÉES OBSERVÉES.	ORDONNÉES RÉGULIÈRES.	ORDONNÉES CALCULÉES. Inclinaison = 0,00331. Vitesse = $449^{m},6$.
m	m	m	m
25.........	0,05	"	0,07
50.........	0,09	"	0,09
75.........	0,12	"	0,08
100.........	— 0,01	0,00	0,00
125.........	— 0,18	"	— 0,15
150.........	— 0,42	"	— 0,37
175.........	— 0,74	"	— 0,70
200.........	— 1,00	— 1,15	— 1,15
250.........	— 2,78	"	— 2,49
300.........	— 4,87	"	— 4,67
350.........	"	"	— 7,79
400.........	—11,85	"	—12,40

On voit que les trajectoires observées et les trajectoires calculées s'accordent autant que les irrégularités d'un tir nécessairement limité le comportent.

L'identité des résultats obtenus par l'expérience et le calcul permettait de ne pas répéter, pour chacune des armes portatives, les nombreuses expériences faites avec le fusil d'infanterie; il suffisait de calculer, à l'aide du pendule balistique, les vitesses initiales, et de déterminer pratiquement les hauteurs moyennes des points d'impact à diverses distances.

A l'aide des vitesses initiales et des hauteurs moyennes des points d'impact, on a calculé, comme pour le fusil, les angles de projection et les ordonnées de la trajectoire.

Ces résultats de l'expérience et du calcul sont contenus dans le tableau suivant :

Tableau des résultats du tir à la cible des armes autres que le fusil d'infanterie et du calcul des trajectoires.

DÉSIGNATION DES ARMES	FUSIL de dragon modèle 1822 trans-formé.	MOUSQUETON DE gendar-merie mod. 1825 transfor.	MOUSQUETON DE cavalerie mod. 1822 trans-formé.	FUSIL double (de volti-geur corse).	PISTOLET de cavalerie mod. 1822 trans-formé.
Poids des charges de poudre (gr.)	6,75	6,75	4,5	9,0	3,0
Hauteurs moyennes, prises sur quarante coups, des points d'impact des balles de 16^{mm},7 rapportées au point visé de la cible à chaque distance.	à 100^{m}.	à 100^{m}.	à 75^{m}.	à 75^{m}.	à 50^{m}.
	m	m	m	m	m
	−0,204	−0,414	+0,080	+0,117	+0,085
	−0,153	−0,268	"	"	+1,219
	−0,248	−0,102	−0,250	"	"
	−0,418	−0,419	"	"	"
	−0,315	−0,306	−0,093	"	"
	−0,268	−0,310	−0,088	"	"
	à 150^{m}.	à 150^{m}.	à 100^{m}.	à 100^{m}.	à 75^{m}.
	m	m	m	m	
	−0,684	− 1,03	−0,035	+0,021	"
	−0,818	− 0,83	−0,479	"	"
	−1,040	− 0,72	−0,243	"	"
	−0,482	− 1,07	"	"	"
	−1,140	− 1,00	"	"	"
	−0,833	−0,930	−0,250	"	"
	à 200^{m}.	à 200^{m}.	"	"	"
	m	m			
	− 1,47	− 1,48	"	"	"
	− 1,78	− 2,00	"	"	"
	− 1,38	− 2,48	"	"	"
	− 1,77	− 2,16	"	"	"
	− 2,29	− 2,25	"	"	"
	−1,738	−2,074	"	"	"
Vitesse initiale, inclinaison de l'angle de projection, et ordonnées calculées, rapportées à la ligne de mire. — Vitesse	410^{m}	400^{m}	285^{m}	445^{m}	180^{m}
Inclinaison	0,00140	0,00096	0,00420	0,00378	0,00726
	m	m	m	m	m
Ordonnées aux distances de 25^{m}	+0,015	+0,003	+0,065	+0,080	+0,084
50	−0,014	−0,041	+0,04	+0,120	−0,057
75	−0,110	−0,143	−0,10	+0,110	−0,455
100	−0,270	−0,31	−0,36	+0,040	−1,15
125	−0,510	−0,57	−0,77	−0,100	"
150	−0,840	−0,93	−1,37	−0,320	"
175	−1,280	−1,41	−2,17	−0,650	"
200	−1,850	−2,02	−3,21	−1,080	"
Dist. du but en blanc	42^{m}.	27^{m},5	59^{m},3	109^{m}	"

Les angles de mire, donnés par les dimensions extérieures de l'arme, comparés aux angles de projection calculés, présentent des différences qui peuvent s'expliquer comme il a été dit pour le fusil, lorsqu'elles sont dans le même sens; mais, dans le tir du mousqueton de cavalerie, l'angle de projection étant plus ouvert que l'angle de mire, il faut admettre que cette arme, à cause de sa faible longueur, tend à tourner autour du point d'appui, et qu'il y a un relèvement de l'extrémité du canon quoique la charge n'ait pas donné un recul trop grand. Ce relèvement du canon a été bien plus sensible encore dans le tir du pistolet de cavalerie. Malgré l'incertitude qui en résulte dans l'emploi de cette arme, on n'a pas cru cependant devoir diminuer la charge, qui du reste ne paraissait pas trop forte.

Les résultats comparatifs que l'on vient de signaler ressortent des calculs ci-après :

Tableau des angles de mire et des angles de projection comparés dans les armes à feu portatives.

DÉSIGNATION DES ARMES	FUSIL de dragon modèle 1822 transformé	MOUSQUETON de gendarmerie modèle 1825 transformé.	MOUSQUETON de cavalerie modèle 1822 transformé.	FUSIL double (de voltigeur corse).	PISTOLET de cavalerie modèle 1822 transformé.
	m	m	m	m	m
Distance du fond du cran de mire à l'axe du canon	0,01810	0,01810	0,01655	0,01550	0,01640
Distance du sommet du guidon à l'axe du canon	0,01620	0,01620	0,01620	0,01225	0,01495
Différence	0,00190	0,00190	0,00035	0,00325	0,00145
Distance du derrière de la mire au sommet du guidon	0,84050	0,67850	0,49250	0,73350	0,20000
Inclinaison ou tangente des angles de mire	0,00226	0,00280	0,00071	0,00443	0,00726
Inclinaison calculée de la ligne de projection	0,00140	0,00096	0,00420	0,00378	"
Différence dans les inclinaisons	— 0,00086	— 0,00184	+ 0,00350	— 0,00065	"
Différence rapportée à la longueur de la ligne de mire (mèt.)	— 0,00073	— 0,00125	+ 0,00172	— 0,00048	"

La charge du pistolet de gendarmerie n'ayant pas été modifiée, on s'en est rapporté, pour le tir de cette arme, aux règles données par la Commission de 1844.

On peut résumer comme il suit les règles de tir pour les armes portatives :

DÉSIGNATION DES ARMES		FUSIL d'infanterie	FUSIL double (de voltigeur corse).	FUSIL de dragon.	MOUSQUETON de gendarmerie.	MOUSQUETON de cavalerie.
Distance du but en blanc		100m	109m	42m	25m	59m
Viser directem. sur l'objet jusqu'à		120m	125m	75m	60m	75m
Quantités dont il faut viser au-dessus du but aux distances de....	75m	″	″	″	m 0,14	″
	100	″	″	m 0,27	0,31	m 0,36
	125	m 0,15	″	0,51	0,57	0,77
	150	0,37	m 0,32	0,84	0,93	1,37
	175	0,70	0,65	1,28	1,41	2,17
	200	1,15	1,08	1,85	2,02	3,21

Avec le pistolet de cavalerie, jusqu'à 50 mètres, viser directement sur l'objet, en ayant soin de s'opposer, autant que possible, au relèvement de l'arme.

Avec le pistolet de gendarmerie, viser de but en blanc jusqu'à 30 mètres.

Dans le tir sur un homme, observer les règles pratiques suivantes (*) :

(*) Décision ministérielle du 11 février 1850.

Tableau indiquant les règles de tir, les distances, les charges de poudre, etc., pour les armes à feu portatives à percussion des différents modèles en service dans les corps de l'armée faisant usage de la balle sphérique de $16^{mm},7$.

DÉSIGNATION DES MODÈLES.	CHARGES de poudre.		RAPPORT de la charge de poudre employée avec celle de la cartouche d'infanterie.	PARTIES DU CORPS DE L'HOMME ou de la cible réglementaire qu'il faut viser pour atteindre la ceinture ou le cercle aux distances réglementaires d'exercice de										
	avec balle.	sans balle		15m	25m	50m	75m	100m	125m	150m	175m	200m	250m	300m
	gr	gr												
Fusil d'infanterie et de voltigeur.	9,00	7,00	"	"	"	"	"	C. c.	C. c.	P. p.	T. t.	S. s.	mire.	mire.
Fusil de dragon................	6,75	6,75	3/4	"	"	"	C. c.	P. p.	T. t.	T. t.	S. s.	mire.	"	"
Fusil double (*de voltigeur corse*).	9,00	7,00	"	"	"	"	"	C. c.	C. c.	P. p.	T. t.	S. s.	mire.	mire.
Mousqueton de gendarmerie.....	6,75	6,75	3/4	"	"	C. c.	C. c.	P. p.	T. t.	S. s.	"	"	"	"
Mousqueton de cavalerie........	4,50	4,50	1/2	"	"	C. c.	C. c.	P. p.	T. t.	S. s.	"	"	"	"
Pistolet de cavalerie............	3,00	3,00	1/3	C. c.	C. c.	"	"	"	"	"	"	"	"	"

NOTE. Le pistolet de gendarmerie est du calibre de $15^{mm},2$, sa balle a $14^{mm},7$ de diamètre ; la charge de poudre est uniformément de $1^{gr},30$ pour les cartouches à balle et en blanc.

A 15 mètres, viser la ceinture.

LÉGENDE.

C. Ceinture de l'homme.
P. Poitrine.
T. Tête de l'homme.
S. Partie supérieure de la coiffure.

c. Cercle noir.
p. Bande inférieure.
t. Bande supérieure.
s. Sommet de la cible.

A défaut de cartouches spéciales, on se sert de la cartouche d'infanterie, en rejetant :

Le quart de la charge avec le fusil de dragon et le mousqueton de gendarmerie;

La moitié avec le mousqueton de cavalerie;

Les deux tiers avec le pistolet de cavalerie;

La charge du pistolet de gendarmerie reste de $1^{gr},50$ égale à la moitié de celle du pistolet de cavalerie.

En résumé, la Commission de 1848, comme celles qui l'ont précédée, a apprécié d'abord l'intensité du recul par le tir à l'épaule; mais, dans l'emploi du fusil-pendule, elle a calculé les vitesses de recul des diverses armes, au lieu de les comparer entre elles par l'amplitude des arcs parcourus. Elle n'a estimé les effets balistiques ni par les portées, comme en 1828, ni par les pénétrations, comme en 1841 et 1844; mais elle a recherché les vitesses initiales qui permettent, en tenant compte de la résistance de l'air, de mesurer la quantité de mouvement du projectile en un point quelconque du trajet.

Enfin, dans le tracé de la trajectoire, la Commission de 1848 a soumis au calcul les données de l'expérience. Les résultats contrôlés ainsi les uns par les autres, laissent moins de doutes sur leur exactitude, et il en résulte des règles de tir aussi précises que l'on peut le désirer pour l'emploi des armes à la guerre.



EXPÉRIENCES

Exécutées à Metz dans les années 1836, 1837, 1838, 1839 et 1842, pour déterminer, au moyen du pendule balistique, les vitesses initiales imprimées aux projectiles par la poudre ordinaire de guerre dans les bouches à feu de l'artillerie française.

[Extrait du huitième Rapport de la Commission des principes du tir (*) de l'École d'artillerie de Metz.]

Les expériences dont il va être rendu compte ont eu pour objet une partie de la première question du programme général de la Commission des principes du tir de Metz, approuvé par le Ministre de la Guerre le 17 septembre 1839. Cette question était ainsi conçue : Utilité des expériences

Déterminer les vitesses initiales des projectiles, la relation entre les vitesses et les charges d'une poudre donnée, les poids et la densité des projectiles, les calibres, les longueurs d'âme, le vent.

La vitesse initiale des projectiles est un élément indispensable pour calculer les effets dont ils sont susceptibles,

(*) La Commission a été composée des chefs d'escadron Peloux et Piobert, et des capitaines Péronnier, Morin, Didion, de Verely, Virlet et Boileau. Les expériences sur le canon de 24, de siége, et sur celui de 12, de campagne, ont été faites, en 1836 et 1837, par M. Piobert; les expériences sur le canon de 12, de place, ont été commencées en 1837 par MM. Morin et Didion; ce dernier officier a été ensuite plus particulièrement chargé de la direction des expériences en 1838, 1839 et 1842.

et comparer ces effets entre eux. C'est de la vitesse initiale et des lois de la résistance de l'air qu'on peut déduire la trajectoire décrite par un projectile, la profondeur à laquelle il pénètre dans les terres, dans les bois, dans les maçonneries, à des distances données. Il est important aussi de connaître, sous le rapport des effets balistiques de la poudre, l'influence du diamètre et du poids des boulets et des obus.

Depuis longtemps des expériences avaient été faites sur ce sujet. Les éléments de presque toutes ces épreuves, tels que les portées ou les pénétrations dans les terres, dont on a voulu déduire les vitesses, étaient loin de présenter une précision suffisante; ils étaient affectés par des actions diverses, dont on n'avait pu tenir compte: et, en outre, les lois de la résistance des milieux sur lesquelles reposait la détermination des vitesses initiales, n'étaient qu'imparfaitement connues.

Les expériences faites en Angleterre par Hutton, avec un pendule balistique, avaient été bien dirigées; mais leurs résultats ne pouvaient pas être complétement utilisés, attendu qu'ils étaient relatifs à des calibres plus petits que ceux dont on fait actuellement usage, et à des poudres notablement différentes de la poudre de guerre française.

Il était donc important d'entreprendre une série complète d'expériences avec les poudres et les projectiles en usage, les modes de chargement habituellement pratiqués pour chaque espèce de bouche à feu, et en se servant des appareils balistiques perfectionnés que l'artillerie possède.

En raison de la nécessité de disposer successivement les divers canons et obusiers sur un même appareil de suspension, de la durée de chacune de ces opérations, du nombre assez limité d'expériences qu'on pouvait faire en un jour, plusieurs années ont été consacrées à ces travaux.

La Commission a dû rechercher pour chaque bouche à feu, avec les projectiles et le mode de chargement en usage,

les relations entre les vitesses et les poids des charges de poudre; elle a fait varier ces poids par degrés, et parfois dans des limites plus étendues que celles du service à la guerre, afin de pouvoir mieux reconnaître la loi qu'il s'agissait de trouver. Pour quelques canons, elle a déterminé, en outre, la charge qui donne le maximum de vitesse au projectile. Elle a également étudié l'influence de la densité et du diamètre sur les projectiles de différents calibres, particulièrement sur les obus dont le poids varie avec l'épaisseur des parois et avec la quantité de poudre ou de balles de plomb qu'on y renferme.

La Commission ne s'est pas bornée toujours aux modes de chargement en usage, parce que d'autres procédés ont été proposés, essayés, et même adoptés à différentes époques, et qu'il était important d'en connaître l'influence sur la vitesse initiale des projectiles. Les expériences ont été réparties sur les divers calibres, afin de ne pas trop dégrader les bouches à feu.

Exécution des expériences; projectiles; charges de poudre.

Les appareils balistiques, employés pour la recherche des vitesses initiales des projectiles et des vitesses de reculs des bouches à feu, étaient ceux qui avaient été construits par MM. Piobert et Morin et avaient servi aux expériences sur les poudres provenant des divers procédés de fabrication.

Les bouches à feu ont été prises dans le matériel de guerre en usage. Les projectiles ont été choisis parmi les boulets et les obus de service, qui présentaient assez de régularité sous le rapport des dimensions et du poids.

Dans les canons de 24, de siége, dans ceux de 12, de campagne, qui n'ont tiré qu'un petit nombre de coups, on a employé plusieurs fois de suite les mêmes boulets; mais, quand on eut remarqué que, par le frottement dans le sable dont est chargé le récepteur, les projectiles s'usaient et perdaient de leur poids, on ne s'est plus servi qu'une seule fois du même boulet.

La différence entre le diamètre des projectiles et celui de la grande lunette du calibre a été mesurée, en général, sur cinq ou six diamètres des projectiles à l'aide d'une lame d'acier en forme de coin; la moyenne des diamètres trouvés, retranchée du diamètre de la grande lunette, donnait le diamètre du projectile.

La Commission a fait usage de la poudre ordinaire de guerre, fabriquée par le procédé des pilons, à la poudrerie de Metz. Celle qu'elle a employée avec les canons de 24, de siége, et de 12, de campagne, était de la poudre de 1830; mais, à l'époque où les expériences ont été exécutées sur les autres bouches à feu, elle n'a plus retrouvé des poudres de la même année, par suite des mouvements qui avaient eu lieu dans les magasins de la Direction d'artillerie de Metz. Elle s'est alors servie de poudre de 1837; et, pour obtenir plus d'homogénéité, on a mêlé ensemble 500 kilogrammes de ces poudres qu'on a remises ensuite en barils.

La densité gravimétrique a varié de 0,83 à 0,84; le nombre de grains au gramme était d'environ 400; la portée au mortier-éprouvette était de 236 mètres, et la vitesse de la balle au fusil-pendule de 490 mètres par seconde pour la charge de 10 grammes.

Expériences avec le canon de 24, de siége.

Dans les expériences faites avec le canon de 24, de siége, la Commission a eu pour but de déterminer la relation entre les vitesses initiales et les poids des charges de poudre; on a tiré trois coups avec chacune des charges de $0^k,50$, $1^k,00$, $1^k,50$, $2^k,00$, $2^k,50$, $3^k,00$ de poudre ordinaire de guerre, ou de $\frac{1}{24}$, $\frac{1}{12}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{6}$, $\frac{5}{24}$ et $\frac{1}{4}$ du poids du boulet.

Les épreuves antérieurement faites sur les poudres provenant de divers procédés de fabrication, comprenant des poudres confectionnées par le procédé des pilons, ont servi

à compléter cette série pour les charges de 4 et 6 kilogrammes; la charge de 3 kilogrammes fait partie des deux séries et les relie entre elles.

En conséquence de l'ordre ministériel de 1833, qui avait prescrit l'essai des gargousses allongées, proposées par M. Piobert, afin de diminuer les dégradations des bouches à feu, la Commission a recherché l'influence sur la vitesse initiale, de l'allongement de la charge ou de la diminution du diamètre de la gargousse. Les gargousses étaient des diamètres de 140 millimètres, en usage à cette époque, et de 131, 128 et 121 millimètres, et il a été tiré, avec chaque espèce de gargousse, trois coups à chacune des charges indiquées plus haut. On s'est servi plusieurs fois de suite du même boulet vérifié dans plusieurs sens avec la lunette intermédiaire. Le chargement se faisait suivant le mode ordinaire à boulet roulant, en mettant un bouchon de foin sur la poudre et un autre sur le boulet.

Les expériences faites avec le canon de 12, de campagne, ont eu simplement pour but de rechercher la relation entre les vitesses initiales et les poids des charges de poudre, en employant le mode ordinaire de chargement à boulet ensaboté. Expériences avec le canon de 12, de campagne.

Il a été tiré, avec trois boulets du même poids et du même diamètre, trois coups à chacune des charges $0^k,25$, $0^k,50$, $0^k,75$, $1^k,00$, c'est-à-dire $\frac{1}{24}$, $\frac{1}{12}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{6}$ du poids du boulet. Les expériences faites antérieurement sur les poudres provenant de divers procédés de fabrication, comprenant des poudres ordinaires à canon, ont servi à compléter cette série pour les charges de $1^k,50$ et $2^k,00$, c'est-à-dire $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{3}$ du poids du boulet.

Dans les expériences faites avec le canon de 12, de place, la Commission s'est proposé de rechercher la relation entre Expériences avec le ca-

non de 12, de place.

les vitesses initiales des projectiles et les poids des charges, en faisant varier ceux-ci dans des limites plus étendues que celles du service, et par degrés assez petits pour qu'il soit possible de déterminer avec précision la relation cherchée.

Ce canon étant, parmi tous les calibres en usage, celui dont la longueur d'âme est la plus grande, proportionnellement à son diamètre, il a paru à propos de l'employer à la détermination de la charge qui donne au projectile le maximum de vitesse, question posée par le programme général du 29 mai 1833.

La relation entre les vitesses initiales et les poids du projectile dans les canons a été étudiée avec des obus dont on a fait varier le poids. Cette recherche a pu être facilement étendue aux faibles densités, au moyen des obus d'épaisseur plus petite et d'épaisseur plus grande que celle des obus ordinaires. On a obtenu aussi des densités plus grandes que celles des boulets, en coulant du plomb dans les obus ordinaires.

Il a été fait, avec le canon de 12, de place, quelques épreuves sur l'influence de l'allongement de la charge par la diminution de son diamètre, pour compléter celles qui avaient eu lieu avec le canon de 24.

Enfin la Commission a cherché l'influence exercée sur la vitesse initiale par différents modes de chargements pratiqués dans les écoles, tels que : le chargement avec sabots de carton, avec sabots en bois à cavité sphérique, comme ceux de campagne, avec des sabots à bords minces faisant éclisses, et le chargement sans sabot ni bouchon. Ces expériences ont été faites à trois charges différentes, celles de $\frac{1}{12}$, $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{2}$ du poids du boulet; avec le sabot de campagne ordinaire seul, les charges ont varié par degrés très-rapprochés; pour les très-petites charges on a fait usage, soit d'une seconde gargousse remplie de foin et placée dans la première, sur la

poudre, soit d'une gargousse très-allongée, en réduisant son diamètre à moitié de celui du calibre.

Dans les expériences faites avec le canon de 8, de place, la Commission s'est proposé uniquement de déterminer la relation entre les vitesses initiales et les poids des charges de poudre. On a tiré avec des charges dont les poids allaient en décroissant par quantités sous-doubles, depuis la charge de $\frac{1}{8}$ du poids du boulet jusqu'à celle de $\frac{1}{96}$, et en croissant par seizièmes depuis le poids de $\frac{1}{8}$ jusqu'à celui de moitié du poids du boulet, ou 2 kilogrammes. Afin que les résultats du tir présentassent plus de précision et fussent plus comparables entre eux que dans la série précédente, plusieurs fois interrompue par suite de la variété des recherches à faire, on eut soin que les poids moyens des six boulets tirés à chaque charge fussent sensiblement égaux. Le tir a eu lieu constamment à boulet roulant, avec un bouchon sur la poudre et un autre sur le boulet. Expériences avec le canon de 8, de place.

Les expériences avec le canon de 16, de siége, sur la relation entre les vitesses initiales des projectiles et les poids des charges, ont été étendues depuis les plus petites charges, en usage dans le tir plongeant, jusqu'à celle de moitié du poids du boulet, qu'on emploie quelquefois dans le tir en brèche. Il a été tiré six coups à chacune d'elles, en chargeant, suivant l'usage, avec deux bouchons de foin du poids de 100 grammes. Expériences avec le canon de 16, de siége.

Pour les petites charges, on a adopté le mode de chargement spécial, avec gargousses du calibre de 4 et sans bouchon. Pour la charge du $\frac{1}{64}$ du poids du boulet, ou de $0^{k},125$, le calibre des gargousses a varié depuis celui de 16 jusqu'à celui de 4, et, avec ce dernier, on a employé

les charges de 100, 125, 150 et 200 grammes; quatre coups avec chacune d'elles ont été suffisants. Ces essais ont été répétés à la charge de moitié du poids du boulet, parce que, dans ce cas, les gargousses allongées présentent plus particulièrement l'avantage de la conservation des bouches à feu; trois degrés d'allongement différents ont été soumis à l'expérience.

Le chargement avec la lanterne, qui était en usage avant l'adoption des gargousses, a été aussi expérimenté.

L'épreuve du chargement avec sabot de carton assez mince pour ne pas forcer le boulet dans son emplacement, a été répétée à la charge de $\frac{1}{4}$ du poids du boulet. Le carton employé avait une épaisseur de $1^{mm},8$, égale à la différence des demi-diamètres du calibre de l'âme et de la grande lunette du projectile.

Expériences avec le canon de 8, de campagne.

Dans les expériences avec le canon de 8, de campagne, la Commission a déterminé la relation entre les vitesses initiales et les poids des charges de poudre, en employant le chargement habituel à cartouche à boulet. Les charges ont varié depuis la plus petite que l'on puisse employer jusqu'à celle de moitié du poids du boulet; il a été tiré quatre coups avec chacune d'elles; quelques coups tirés en outre ont fait connaître avec plus de précision la vitesse résultant de la charge ordinaire de guerre.

Dans le tir à balles, on a cherché à déterminer la vitesse des balles, mais il s'est présenté des difficultés qui n'avaient pas été prévues et qui ont rendu l'expérience peu concluante.

Il était utile de connaître la charge qui communique au projectile le maximum de vitesse. Ce résultat, relatif au canon de la plus faible longueur en usage, joint à celui qu'a donné le canon de 12, de place, fournit cette vitesse pour les deux limites extrêmes du rapport des longueurs d'âme au calibre. Afin que ces deux expériences fussent comparables,

le canon de 8 a été chargé, comme le canon de 12, avec gargousse en papier et deux bouchons de foin, l'un sur la poudre et l'autre sur le boulet. Les expériences précédentes donnaient la vitesse maximum pour le cas du chargement ordinaire de campagne.

Expériences avec l'obusier de 15 centim

Dans les expériences faites avec l'obusier de 15 centimètres, pour rechercher la relation entre les vitesses initiales et les poids des charges de poudre, la Commission a employé, outre les charges de $1^k,50$ et $0^k,50$ en usage, celles de $0^k,75$ et $0^k,25$ qui avaient déjà été essayées, dans les expériences de 1834, sur la pénétration des projectiles dans les terres; la longueur des tampons a varié de manière à donner la même longueur de charge.

Les obus ont été amenés au poids uniforme de $7^k,70$, qui est celui des obus chargés de poudre et de matières incendiaires, au moyen de sable introduit par la lumière fermée ensuite par un bouchon en bois; ils ont été classés par diamètres, de manière à donner, pour les diverses séries, des moyennes aussi rapprochées entre elles que possible.

La Commission a cherché aussi la relation entre les vitesses et les poids des charges, en supprimant le tampon, disposition qui pourrait être employée dans l'attaque des places; elle a, à cet effet, étendu les expériences jusqu'à la faible charge de $0^k,125$ dont elle avait fait usage pour les épreuves de 1834, et qui peut être employée dans le tir à ricochet.

Il a été tiré aussi des obus plus légers et plus lourds que les obus ordinaires. Les densités plus grandes ont été obtenues au moyen d'obus ordinaires remplis de balles de plomb, et de boulets de 24 dont on avait fait usage dans les expériences de 1834. On a tiré, aux charges de 250 grammes et 1 kilogramme, des boulets de 24, sans sabot ni tampon, avec des gargousses en papier et des sachets en serge.

Expériences avec l'obusier de 12 centim.

L'obusier de 12 centimètres de montagne, étant la bouche à feu dont la longueur d'âme est la plus petite, la charge la plus faible et le projectile le plus léger, présentait un intérêt particulier.

Le chargement en usage, sachet et sabot, a été expérimenté à la charge ordinaire de guerre, 270 grammes, et à des charges moitié et quart de celle-ci.

Les obus ont été amenés, au moyen de sable, à un poids uniforme de 4^k,280, qui comprend celui de la poudre et des matières incendiaires qu'on y renferme; les sabots ont été amenés à un poids uniforme de 147 grammes, au moyen de morceaux de plomb.

Des expériences ont été faites sur des obus à parois moins épaisses que celles des obus ordinaires, des obus remplis de balles de plomb et des boulets de même diamètre que les obus. La détermination de la vitesse des obus remplis de balles avait une utilité particulière, puisque ce genre de projectile est employé à la guerre.

Les expériences sur la relation entre les vitesses des projectiles et leurs diamètres, ont été faites avec des projectiles coulés exprès de trois diamètres différents : l'un plus grand, les autres plus petits que le calibre ordinaire. On a, de plus, choisi, parmi un grand nombre de projectiles en usage, ceux qui présentaient le plus grand et le plus petit diamètre.

Les dimensions extérieures de l'obusier de montagne sont si faibles, qu'on a renoncé à le disposer, comme les autres bouches à feu, sur l'appareil de suspension; il a été placé en face du récepteur, sur une plate-forme horizontale. Les roues de l'affût reposaient sur deux madriers qui se croisaient sous la crosse, et l'affût était maintenu sur ce patin par des taquets, des ferrures et des cordages qui lui laissaient un certain jeu favorable à sa conservation dans le recul.

Expériences

Dans les expériences avec l'obusier de 16 centimètres,

la Commission s'est bornée à employer, avec le mode de chargement en usage, les seules charges usitées en campagne, $1^k,50$ et $0^k,75$. avec l'obusier de 16 centim.

Les obus ont été amenés au poids uniforme de $11^k,20$, égal moyennement à celui des obus chargés pour la guerre. Les sabots et les tampons ont été aussi amenés à un poids uniforme, au moyen de petits morceaux de plomb.

Pour faire varier la densité du projectile, il a été fait usage d'obus à parois minces, d'obus ordinaires, remplis de balles de plomb, et de boulets du diamètre des obus correspondant au calibre de 32. Ces boulets ayant été employés dans les expériences de 1834, sur les pénétrations, il était utile de reconnaitre leur vitesse initiale.

On a déterminé les vitesses que donnent les petites charges renfermées dans des gargousses en papier, dont on pourrait se servir dans l'attaque des places, pour le tir à ricochet; l'expérience a été faite aux charges de 400, 200, 100 grammes, dans des gargousses du calibre de 4, avec lesquelles l'exécution du tir est facile et sûre.

A la charge de 400 grammes, on a tiré comparativement avec sabot et sans sabot, et aux autres charges on a tiré sans sabot, comme on le ferait dans l'attaque des places.

Pour placer le projectile comme il doit l'être, c'est-à-dire la lumière de l'obus du côté de la bouche de l'obusier, on mettait le grand cercle de l'obus, qui est perpendiculaire à l'axe de la lumière, dans le plan de la tranche de la bouche, cette lumière en dehors, et l'on faisait ensuite rouler le projectile dans l'âme de l'obusier, légèrement incliné au-dessus de l'horizon. La longueur de la partie cylindrique de l'âme étant égale à trois circonférences de l'obus moyen, celui-ci, lorsqu'il a fait trois tours, se trouve dans la position convenable, en avant de la chambre, la lumière du côté de la bouche et à la hauteur de l'axe. Une

pression légère, exercée avec le refouloir, a suffi pour l'engager dans le cône de raccordement.

Expériences avec l'obusier de siége.

Dans les expériences avec l'obusier de 22 centimètres de siége, la Commission s'est principalement proposé de connaître la vitesse de l'obus ordinaire, aux différentes charges de poudre, en faisant varier celles-ci depuis les plus petites, dont il est nécessaire de faire usage dans le tir à ricochet, jusqu'à celle de 2 kilogrammes qui remplit la chambre, et en employant le chargement ordinaire, la poudre dans une gargousse de 12 et l'obus éclissé.

Les obus ont été amenés à des poids uniformes, au moyen de sable. Pour les obus ordinaires, le poids de 23 kilogrammes, qui est à peu près celui de ces projectiles contenant la charge le plus habituellement employée, a été adopté.

Pour faire varier la densité, la Commission a employé des obus à parois minces, qu'elle possédait, et des obus ordinaires remplis de balles de fer et amenés, les uns au poids uniforme de $16^{k},50$ et les autres à 33 kilogrammes; ce dernier poids étant double du premier.

Elle a cherché à reconnaître, à la charge moyenne de 1 kilogramme, l'influence des variations de diamètre des obus sur les vitesses initiales, en se restreignant toutefois dans les limites des tolérances des projectiles en usage.

Expériences supplémentaires sur la grosseur des grains de poudre, le diamètre des gargousses et celui des projectiles.

La Commission a fait des essais pour reconnaître l'influence qu'auraient pu avoir, sur les vitesses initiales, des différences telles qu'il s'en rencontre ordinairement dans la granulation de la poudre, dans le diamètre des gargousses et dans celui des projectiles.

Elle a fait usage à cet effet du canon de 12, de place, avec lequel les épreuves avaient été le plus multipliées et le plus variées, et de la poudre de même fabrication que celle qui avait été employée, mais de deux grosseurs de grains différentes, pour tirer aux charges de $\frac{1}{12}$, $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{2}$ du poids du boulet.

Au moyen d'égalisoirs et de sous-égalisoirs, on a séparé les grains de diverses grosseurs de la poudre employée, et on en a formé de la poudre de 622 grains au gramme, la plus petite de celles qu'aient indiquées les échantillons, et de la poudre de 300 grains au gramme, comme la poudre à canon privée de fins grains. Les épreuves en usage ont donné respectivement avec ces poudres, de 622 et 300 grains au gramme, savoir : portées au mortier-éprouvette, $234^{m},7$ et $234^{m},2$; vitesse de la balle au fusil, $491^{m:s},8$ et $448^{m:s},2$; densité gravimétrique, 0,844 et 0,830. Grosseur des grains de poudre.

Ces poudres, sous le rapport des effets balistiques, ne diffèrent pas sensiblement de la moyenne des poudres qui avaient été employées dans les expériences précédentes, et auxquelles elles correspondent d'ailleurs par la moyenne des grosseurs de grains.

On a tiré six coups à chaque charge, avec l'une et l'autre espèce de poudre, pour obtenir cinq ou six résultats partiels qui s'écartassent peu les uns des autres.

Pour les expériences sur le diamètre des gargousses, on a fait usage de deux mandrins, l'un du diamètre réglementaire de 108 millimètres, l'autre de celui de 112 millimètres, ce qui laisse une différence plus grande que celle que l'on peut craindre dans une confection ordinaire. Diamètre des gargousses.

Six coups ont été tirés aux charges de $1^{kil},500$ et de 3 kilogrammes avec chacune des deux sortes de gargousses.

Les projectiles ont été choisis parmi un très-grand nombre de boulets neufs et compris entre la grande lunette de 119 millimètres et la lunette intermédiaire de $118^{mm},3$; leurs poids et leurs diamètres déterminés avec soin, on a pris ceux dont la surface ne présentait pas d'irrégularités, qui, par leurs diamètres, s'approchaient le plus de la lunette intermédiaire, et dont les poids étaient en même temps peu différents entre eux.

On a employé, comme dans le chargement en usage, un bouchon de 100 grammes de foin sur la poudre et un semblable sur le boulet, en apportant à leur confection un soin tout particulier pour éviter, autant que possible, les inégalités des vitesses que peut produire leur emploi.

Diamètre des projectiles.

La Commission a repris les expériences sur la relation entre la vitesse et le diamètre du projectile, qui n'avaient été faites qu'avec des obusiers. Elle a employé cinq espèces de projectiles, à la charge moyenne du quart du poids du boulet; mais, pour ne pas trop multiplier les essais aux autres charges, et vu les résultats déjà trouvés avec les obusiers, on s'est borné à expérimenter sur trois grosseurs, l'une au-dessus du calibre réglementaire, l'autre égale à ce calibre, l'autre au-dessous, les différences dépassant d'ailleurs de beaucoup les limites en usage dans le service.

Ordre suivi dans l'exposé des résultats.

Les résultats relatifs à chaque espèce de recherche seront exposés dans l'ordre suivant :

1°. Relation entre les vitesses initiales des projectiles et les charges de poudre;

2°. Relation entre les vitesses initiales des projectiles et les poids des projectiles, la charge restant la même;

3°. Relation entre les vitesses initiales et les diamètres des projectiles;

4°. Influence du mode de chargement, y compris l'allongement de la gargousse.

On examinera successivement ces relations dans les diverses bouches à feu, et l'on pourra reconnaître si elles sont ou ne sont pas indépendantes des calibres.

Relation entre les vitesses initiales des projectiles et les poids des charges de poudre dans les canons.

La relation entre les vitesses initiales des projectiles et les poids des charges de poudre a été étudiée sur chacune des bouches à feu. Dans quelques cas on a fait varier le poids des charges par degrés très-rapprochés, en partant des plus petites qu'il ait été possible d'employer.

Le résultat de ces épreuves sur les canons des divers

calibres est exposé dans les tableaux suivants qui comprennent pour chaque série d'expériences, outre le poids de la charge de poudre, le diamètre de la gargousse ou du sachet et la hauteur qu'occupe la poudre tassée, le poids du projectile, le diamètre moyen des projectiles tirés à cette charge ou l'indication des lunettes avec lesquelles ils ont été vérifiés; les reculs à chaque coup tiré à la même charge, reculs qu'exprime le produit du poids en kilogrammes, par la vitesse en mètres parcourus en une seconde (*), et la moyenne des reculs pour les coups à la même charge; enfin, les vitesses initiales des projectiles à chaque coup et leur moyenne à chaque charge.

(*) Le recul du canon-pendule exprimé par le produit du poids par la vitesse de recul est représenté par $1^{k\ m:s}$.

Tableau des vitesses initiales des boulets et des reculs des bouches à feu à différentes charges de poudre ordinaire de guerre.

MODE DE CHARGEMENT.	CHARGES DE POUDRE			PROJECTILES.		RECULS DU CANON-PENDULE		VITESSES	
	Poids	Diamètre.	Hauteur de la poudre	Poids.	Diamètre	Produit du poids par la vitesse de recul		initiales du projectile	
	kil	mm	mm	kil		k.m.s	k.m.s	m.s	m.s
Canon de 24, de siége, à boulet roulant. Le poids de chacun des deux bouchons est de 130 gr.	0,500	140	29	12,137	lunette intermédiaire	2677 2702 2638	2672	186,2 189,0 192,7	189,3
	1,000	id.	68	12,130	id.	4149 4266 4250	4222	279,1 280,6 284,4	281,4
	1,500	id.	98	12,074	id.	5513 5478 5478	5490	360,3 357,0 361,0	359,4
	2,000	id.	135	11,997	id.	6469 6283 6274	6342	396,1 391,7 396,2	394,7
	2,500	id.	168	11,866	id.	7022 7044 7035	7034	418,8 413,9 426,9	[illegible]
	3,000	id.	204	11,960	id.	7939 8043 8057	8013	469,3 471,6 472,5	471,1
Canon de 12, de campagne, à boulet roulant. Le poids du sabot et des bandelettes est de 128 grammes.	0,250	108	[illegible]	6,095	id.	1219 1254 1223	[illegible]	190,8 193,6 191,1	190,8
	0,500	id.	[illegible]	6,095	id.	2064 2035 2087	2059	307,0 295,8 308,1	303,6
	0,750	id.	[illegible]	6,095	id.	2548 2540 2533	2540	350,9 351,9 349,6	350,8
	1,000	id.	[illegible]	6,095	id.	3087 3046 3058	3064	410,5 406,3 402,5	406,4
Canon de 12, de place, à boulet roulant. Le poids de chaque bouchon est de 100 grammes.	0,250	110	[illegible]	6,068	entre les 2 lunettes	1274 1276 1310 1304	1291	187,0 189,1 194,5 194,2	191,2
	0,375	id.	»	6,070	id	1717 1739 1735	[illegible]	245,7 250,8 249,5	248,7
	0,500	id.	[illegible]	6,06[illegible]	id.	2078 2079 2055 2048	2065	292,6 298,3 293,2 291,5	293,9
	0,750	id.	[illegible]	6,060	id.	2685 2664 2662	2671	358,7 354,4 354,4	355,8
	1,000	id.	[illegible]	6,07[illegible]	id.	3234 3245 3252	3244	422,5 419,5 424,9	422,3
	1,250	id.	137	6,070	id.	3704 3678 3691	3691	463,8 460,9 462,4	462,3
	1,500	id.	164	6,071	id.	4110 4036 4109 4148	4101	490,5 482,9 492,4 498,7	491,1
	2,000	id.	225	6,100	id.	4901 4842 4754	4832	548,6 539,6 529,6	539,3
	2,500	id.	280	6,101	id.	5199 5313 5145	5219	558,2 565,4 545,0	556,2
	3,000	id.	333	6,090	id.	5229 5657 5419	5535	558,8 569,6 555,0	561,1

	kil	mm	mm	kil	Entre les 2 lunettes	k.m:s			k.m:s	m:s			m:s
Répétition des mêmes	2,000	111	208	6,082		4758	4747	4658	4721	535,9	551,5	535,3	540,9
expériences à boulet roulant.	2,500	id.	220	6,089	id.	4879	5144	4952	5015	533,7	561,0	541,9	546,0
Ces expér. ont été faites en même temps que la		id.				5083				547,4			
recherche de la charge qui donne la vit. max.	3,000	id.	297	6,090	id.	5565	5635	5527	5576	566,2	588,7	568,8	574,6
	0,062	108	10	6,090	id.	521	582	545	549	86,4	96,2	90,7	91,1
Canon de 12,	0,125	id.	27	6,088	id.	878	845	843	855	135,2	131,3	133,2	133,2
	0,250	id.	37	6,075	id.	1362	1348	1364	1358	207,3	204,7	204,5	205,5
de place, à boulet ensaboté.	0,500	id.	60	6,085	id.	2213	2154	2140	2169	319,8	308,3	310,2	302,8
Chargé avec cartouches	0,750	id.	85	6,075	id.	2727	2744	2719	2730	371,7	376,0	371,0	372,9
	1,000	id.	113	6,096	id.	3237	3245	3251	3244	421,9	426,1	428,3	425,4
à boulet de campagne; sabot, ban-	1,500	id.	167	6,106	id.	4031	3981	4130	4048	487,7	499,9	503,3	497,0
	2,000	id.	221	6,107	id.	4596	4681	4686	4654	530,6	531,5	536,0	532,7
delettes du poids moyen de 128 gr.	2,500	109	272	6,096	id.	5315	5262	5111	5229	571,0	560,9	556,7	562,9
	3,000	id.	315	6,095	id.	5689	5446	5684	5606	588,8	557,1	579,8	575,2
	0,031	98	"	4,053	id.	220	206	214	213	52,6	52,9	50,5	51,1*
						215	205	217		49,6	51,5	49,5	
	0,0625	id.	"	4,052	id.	339	323	338	341	89,4	75,2	85,5	84,8
						326	331	340		88,1	77,5	92,8	
Canon de 8,	0,125	id.	20	4,057	id.	683	677	688	683	154,2	153,7	155,3	153,9
						672	690	688		149,3	155,2	155,8	
de place, à boulet roulant.	0,250	id.	36	4,052	id.	1117	1089	1127	1121	242,8	233,1	241,5	241,4
						1128	1129	1136		242,1	243,2	245,6	
Le poids de chaque	0,500	id.	67	4,053	id.	1788	1809	1798	1799	363,9	365,8	366,7	370,2
						1831	1787	1792		370,0	370,6	384,3	
bouchon est de 50 grammes.	0,750	id.	98	4,058	id.	2305	2325	2305	2315	452,5	448,1	451,4	448,3
						2320	2305	2332		448,2	440,8	448,6	
Poids des deux bouchons, 100 gr.	1,000	id.	131	4,052	id.	2620	2655	2614	2654	487,5	492,9	485,4	489,3
						2646	2697	2692		485,9	498,1	486,0	
	1,250	id.	162	4,056	id.	2947	2919	2832	2836	516,4	516,4	501,8	507,1
						2972	2873	2777		518,6	499,7	489,7	
	1,500	id.	193	4,057	id	3200	3149	3147	3142	537,2	533,1	531,7	528,5
						3055	3200	3103		514,1	535,4	519,6	

(*) Aux charges de 0^k,031 et 0^k,0625 le premier bouchon était renfermé dans une garg. placée dans la gargousse qui conten. la poudre et sur cette poudre.

Tableau des vitesses initiales des boulets et des reculs des bouches à feu à différentes charges de poudre ordinaire de guerre. [Suite.]

MODE DE CHARGEMENT.	CHARGES DE POUDRE.			PROJECTILES.		RECULS DU CANON-PENDULE		VITESSES initiales du projectile.	
	Poids.	Diamètre.	Hauteur de la poudre	Poids.	Diamètre.	Produit du poids par la vitesse de recul			
	kil	mm	mm	kil	mm	k m s	k m s	m s	m s
Canon de 8, de place, à boulet roulant. (Suite.)	1,750	98	230	4,060	Entre les 2 lunettes.	3436 3475 3566 3298 3414 3411	[illegible]	560,0 552,5 551,7 548,5 551,7 558,7	549,4
	2,000	id.	265	4,063	id.	3694 3613 3565 3571 3555 3541 3467 3442 3710	[illegible]	570,8 564,8 559,8 558,2 547,4 550,6 550,[illegible] 561,4 575,1	559,6
Canon de 16, de siége, à boulet roulant. Le poids de chaque bouchon est de 100 gr	0,125	110	18	8,069	129,3	781 782 937 823 795 831	825	92,1 91,0 97,1 96,6 92,1 99,1	94,7
	0,250	id.	33	8,069	129,3	1396 1376 1400 1382 1439 1415	1401	156,6 156,0 158,7 158,7 163,5 160,8	159,1
	0,500	id.	50	8,074	129,2	2316 2295 2346 2249 2266 2261	2289	244,2 248,1 254,4 238,5 244,0 243,0	245,4
	1,000	122	96	8,071	129,3	3551 3611 3594 3616 3589 3916	3646	350,7 361,5 361,4 364,4 358,0 359,9	359,5
	1,333	id.	117	8,070	129,3	4172 4149 4233 4180 4257 4233	4222	408,3 399,3 406,3 398,4 407,8 405,8	404,3
	1,500	id.	142	8,066	129,3	4451 4362 4546 4514 4531 4520	4487	418,5 409,2 431,6 426,5 424,9 426,4	422,9
	2,000	id.	193	8,066	129,3	5164 5308 5102 5021 5059 5346	5167	460,1 473,1 457,5 455,3 453,4 478,3	463,0
	2,667	id.	250	8,069	129,3	5480 5925 5753 5986 5891 6145	5865	463,8 506,5 477,9 502,9 497,6 520,4	494,9
	3,000	id.	285	8,067	129,3	6051 6364 6331 6713 6027	6217	514,8 525,4 524,3 499,3 502,5	513,3
	3,500	id.	331	8,068	129,3	6639 6672 7013 6573 6597 6487	6663	533,4 536,5 561,3 521,0 529,4 519,6	533,5
	4,000	id.	37[illegible]	8,074	129,5	7005 7115 7461 7155 7438 7080	7209	538,5 545,6 572,5 549,9 569,8 536,3	552,1

	kil	mm	mm	kil		k.m.s			k.m.s	m.s			m.s
Canon de 8, de campagne, à boulet ensaboté.	0,062	97	18	4,063	Moy. entre 2 lunettes.	431 408	430	425	424	105,1 99,6	103,3	101,7	102,4
	0,125	id.	31	4,065	id.	687 713	713	718	708	157,9 162,6	163,7	161,9	161,1
	0,250	id.	48	4,062	id.	1127 1155	1150	1138	1143	244,3 247,6	251,4	248,0	247,8
	0,500	id.	76	4,058	id.	1781 1740	1739	1773	1758	359,6 351,2	347,3	359,3	354,4
	0,750	id.	111	4,056	id.	2155 2268	2232	2227	2221	413,7 436,7	420,5	438,7	427,4
	1,000	id.	148	4,065	id.	2622 2633	2491	2585	2583	471,0 460,4	440,5	463,3	458,8
	1,250	id.	174	4,064	id.	2882 2901	2929 2770	2760 2793	2839	488,1 485,5	490,9 472,8	475,2 486,0	483,1
	1,500	id.	210	4,060	id.	3013 2973	3223	2991	3050	493,2 487,2	514,9	493,1	497,1
	1,750	id.	248	4,061	id.	3488 3144	3123	3001	3189	529,7 498,6	506,6	469,2	501,0
	2,000	id.	278	4,062	id.	3228 3547	3246	3421	3360	482,0 521,4	498,8	508,8	502,8
Canon de 12, de place, à boulet roulant; gargousse remplie de foin. Le bouchon mis dans la gargousse est de 130 gr.; l'autre est de 100 gr.	0,0625	110	"	6,067	Entre les 2 lunettes.	430	420	404	418	65,9	63,4	63,2	64,2
	0,125	id.	"	6,067	id.	737	721	732	730	111,3	108,4	113,6	111,1
	0,250	id.	"	6,067	id.	1219 1235	1189	1190	1211	178,3 181,7	172,5	170,5	175,8
Canon de 16, de siége, à boulet roulant sans bouchon.	0,100	80	28	8,070	129,27	677 689	649	692	677	81,5 83,8	78,0	83,3	81,7
	0,150	id.	38	8,069	129,27	942 942	959	940	946	112,9 112,8	116,1	112,2	113,5
	0,200	id.	49	8,070	129,21	1374 1377	1370	1369	1372	136,6 136,3	135,2	135,9	136,0

Tableau des vitesses initiales des boulets et des reculs des bouches à feu à différentes charges de poudre ordinaire de guerre.

(Extrait des expériences sur les poudres de divers procédés de fabrication).

MODE de chargement	CHARGES DE POUDRE. Poids.	Diamètre.	Hauteur de la poudre.	PROJECTILES. Poids.	Diamètre.	RECULS DU CANON-PENDULE. Produit du poids par la vitesse de recul.		VITESSES initiales du projectile.		OBSERVATIONS.
	kil	mm	mm	kil		k m.s	k.m:s	m.s	m.s	
Canon de 24, de siége, à boulet roul. Deux bouch. de foin.	3,000	140	201	11,969	Lunette intermédi^{re}	7692 7355 7519 7696	7566	467,6 452,3 462,2 469,8	463,0	Le poids de chacun des deux bouchons est de 125 gr.
	4,000	id.	264	11,991	id.	8781 8461 8233 8174	8412	510,0 489,4 483,0 474,2	489,2	
	6,000	id.	402	11,960	id.	9938	"	548,6	"	
	6,000	128	512	12,000	id.	10386	"	556,4	"	
Canon de 12, de campagne, à boulet ensaboté.	1,500	108	174	6,084	id.	3773 3838 3741 3820	3793	455,7 457,8 443,0 461,3	454,5	Poids moyens Sachet ...... 28 gr Sabot .... 85 Bandelettes . . . 28
	2,000	id.	217	6,116	id.	4211 4503 4083 4219	4254	484,4 508,5 470,8 489,6	488,3	

Pour qu'il soit plus facile de saisir l'ensemble de ces expériences et de comparer entre elles les vitesses obtenues avec les diverses bouches à feu, on a résumé, dans le tableau suivant, les vitesses moyennes données par les différentes charges exprimées en parties du poids nominal du boulet. Ce rapport simple ne diffère du rapport au poids réel du boulet, que de quantités très-petites et négligeables.

Résumé des résultats d'expériences sur la relation entre les vitesses et les poids des charges de poudre.

Les vitesses relatives aux charges du $\frac{1}{3}$, des $\frac{5}{12}$ et de $\frac{1}{2}$ du poids du boulet, dans le canon de 12 de place, sont les moyennes des résultats des deux séries d'expériences; à la charge de 2 kilogrammes, les vitesses ont été respectivement de $539^{m:s},3$ et $540^{m:s},9$, c'est-à-dire sensiblement les mêmes; elles ont été de $556^{m:s},2$ et $546^{m:s},0$ à la charge de $2^{kil},500$; $561^{m:s},1$ et $574^{m:s},6$ à la charge de 3 kilogrammes. Les différences que ces vitesses présentent étant en sens inverse l'une de l'autre, il n'y a pas lieu de s'en préoccuper pour le résultat de ces épreuves qui ont été faites avec la même espèce de poudre et dans le même canon.

Les vitesses trouvées pour les boulets de 24, de siége, et pour ceux de 12, de campagne, dans les expériences antérieurement faites sur les poudres de divers procédés de fabrication, en ce qui concerne la poudre ordinaire de guerre, complètent le tableau relativement à ces deux calibres.

Tableau résumé de la relation des vitesses des boulets aux poids des charges de poudre, dans les canons de siége, de place et de camp.

Rapport du poids de la charge au poids nominal du boulet.	Vitesses initiales des boulets avec les canons				Rapport du poids de la charge au poids nominal du boulet	Vitesses initiales des boulets avec les canons		
	De 24, de siége.	De 12, de campagne.	De 12, de place, à boulet roulant.	De 12, de place, à boulet ensaboté.		De 8, de place.	De 16, de siége.	De 8, de campagne.
	m:s	m:s	m:s	m:s		m:s	m:s	m:s
1/96	"	"	"	91,1	1/128	51,1	"	"
1/48	"	"	"	133,2	1/64	84,8	94,7	102,4
1/24	189,3	190,8	191,2	205,5	1/32	153,9	159,1	161,1
1/16	"	"	248,7	"	1/16	241,4	245,4	247,8
1/12	281,4	303,6	293,9	302,8	1/8	370,2	359,5	354,4
1/8	359,4	350,8	355,8	372,9	1/6	"	404,3	"
1/6	394,7	406,4	422,3	425,4	3/16	448,3	422,9	427,4
5/24	423,2	"	462,3	"	1/4	489,3	463,0	458,8
1/4	467,1	454,5	491,1	497,0	5/16	507,1	"	483,1
1/3	489,5	488,3	540,1	532,7	1/3	"	494,9	"
5/12	"	"	551,1	562,9	3/8	528,5	513,3	497,1
1/2	548,6	"	567,9	575,2	7/16	549,4	533,5	501,0
					1/2	559,6	552,1	502,8

Représentation graphique des résultats d'expériences.

L'inspection du tableau ci-dessus permet de comparer assez facilement entre elles les vitesses données par les diverses charges, dans chaque bouche à feu. On voit que la vitesse croît constamment avec les charges, dans la limite où ont été faites les expériences, c'est-à-dire, jusqu'à la moitié du poids du boulet. On peut aussi reconnaître que, pour les bouches à feu courtes, comme le canon de 8, de campagne, lorsqu'on approche de la charge moitié du poids du boulet, l'accroissement des vitesses est très-faible pour un accroissement de charge même considérable; tandis que, pour les canons de grande longueur, comme ceux de siége et de place, l'accroissement est encore notable.

Pl. VII, fig. 1. Les comparaisons ne sont plus aussi aisées à établir pour les charges plus petites et qui ne sont pas la même fraction du poids du boulet; pour les faciliter on a représenté par

des lignes les relations entre les vitesses initiales et les poids des charges, en prenant pour coordonnées des longueurs qui représentent ces éléments. Dans le tracé, on a pris les vitesses pour ordonnées et les racines carrées du rapport du poids de la charge à celui du boulet pour abscisses.

Les relations données par les formules théoriques ou pratiques, entre les charges, les longueurs d'âme et les vitesses, sont établies avec la seconde puissance de ces vitesses, de sorte que la relation entre les vitesses et la racine carrée des charges, pour la proportionnalité aux racines carrées du poids des charges, serait représentée par une ligne droite. La relation réelle, s'approchant, comme on le verra, de cette ligne droite dans des limites étendues, sera plus facile à saisir. De cette manière encore, l'échelle des abscisses est comparativement augmentée aux petites charges, où les degrés des charges essayées sont plus rapprochés et où l'accroissement des vitesses est proportionnellement plus considérable. Les points qui représentent les divers résultats d'une série de charges de poids différents, tirées avec une même bouche à feu et par le même mode de chargement, sont joints par des traits de ponctuation différente.

Examen des résultats.

En examinant les résultats des expériences ainsi représentées, on reconnaît d'abord qu'il y a continuité dans la série des vitesses et des charges, qu'aucune interruption, ni aucun changement brusque, ne se fait remarquer dans les lignes brisées et notamment dans celles qui représentent les expériences avec le canon de 8, de campagne, et de 12, de place, à boulet ensaboté. Si dans d'autres lignes, telles que celles du canon de 24, de siége, quelques points s'écartent de la loi la plus simple, cela tient à des irrégularités qu'on peut difficilement éviter dans les effets de la poudre, même dans les expériences faites avec le plus de soin.

On reconnaît en second lieu, qu'avec les modes de chargement en usage, dans les canons de siége, de place et de



campagne, depuis les petites charges jusqu'à celles de $\frac{1}{8}$ du poids du projectile environ, les lignes relatives à ces différentes bouches à feu se confondent ou ne s'écartent que de très-petites quantités. Les effets résultant de la plus ou moins grande longueur d'âme ou du calibre, ne sont pas sensibles. Aux charges plus grandes, les vitesses données par les longues bouches à feu, canons de 12 et de 8, de place, sont supérieures aux vitesses produites par les canons de 24 et de 16, de siége.

L'influence de la longueur de la bouche à feu est plus sensible dans le tir à boulet ensaboté, avec les canons de 12, de place, et de 8, de campagne. Les lignes de vitesse aux très-petites charges, comme celles de $\frac{1}{48}$ du poids du boulet, se confondent entre elles. A mesure que les charges augmentent, les vitesses au canon de 12 l'emportent de plus en plus sur les autres. Avec le canon de 8, à partir des charges du $\frac{1}{3}$ du poids du boulet, l'accroissement de la vitesse devient très-faible par rapport à celui de la charge; à partir de la charge de la $\frac{1}{2}$ du poids du boulet, l'accroissement n'est presque plus sensible, tandis qu'avec le canon de 12 il est encore considérable.

La comparaison des vitesses relatives au canon de 8, de campagne, chargé à boulet ensaboté, et à celui de 8, de place, chargé à boulet roulant, fait voir que les premières, qui aux petites charges sont plus grandes que celles du canon de place, se confondent avec ces dernières aux charges moyennes et deviennent bien plus petites qu'elles aux grandes charges. Il est facile de reconnaître que l'influence de l'emploi du sabot l'emporte, aux petites charges, sur l'influence de la longueur d'âme, tandis que c'est le contraire aux grandes charges, et qu'aux moyennes charges les deux influences se balancent.

En comparant entre elles les vitesses relatives aux deux canons de campagne, de 12 et de 8, on remarque que, dans la première et la seconde série du canon de 12, les vitesses se confondent en plusieurs points avec celles du calibre de 8 et s'en écartent, tantôt en dessous, tantôt en dessus.

Ces canons ayant d'ailleurs des longueurs d'âme proportionnelles à leurs diamètres, on peut prendre, pour compléter les résultats des expériences du calibre de 12, la relation donnée par le calibre de 8, avec lequel les épreuves ont été plus nombreuses et les résultats plus réguliers.

Il en est pour les canons de siége, de 16 et de 24, comme pour ceux de campagne, de 8 et de 12, et l'on peut se servir des expériences faites en plus grand nombre avec le canon de 16. Ici le rapport de la longueur d'âme au calibre est plus grand dans le canon de 16 que dans celui de 24, mais la longueur absolue est moindre; de plus, l'excès du diamètre de l'âme sur le plus grand diamètre des boulets, qui est de la même grandeur absolue dans les deux calibres, est, proportionnellement au diamètre, plus grande dans le calibre de 16 que dans celui de 24 ; de sorte qu'il s'établit une compensation suffisante entre les effets dus aux différences entre les diamètres et entre les longueurs d'âme.

Pour les mêmes raisons, les canons de 8 et de 12, de place, peuvent être assimilés entre eux pour les effets balistiques; car, si la longueur d'âme du canon de 8, en calibres, est plus grande que celle du canon de 12, dans le rapport de 25 à 24, la longueur absolue est moindre; et, de plus, la différence respective entre les diamètres réglementaires de l'âme et les plus grands diamètres des boulets, différence qui est de même grandeur absolue, est proportionnellement plus grande dans le canon de 8 que dans celui de 12.

Le résultat des expériences représentées graphiquement rend évident, d'une part, l'accord dont on vient de parler entre les canons de la même espèce, et, de l'autre, les diffé-

rences entre les vitesses qui correspondent aux grandes charges dans des canons de trois espèces. Ce n'est que tout à fait accidentellement que l'on remarque cependant un peu de désaccord en quelques points.

Les vitesses initiales des boulets tirés dans les canons de siége sont sensiblement plus petites que celles des boulets tirés dans les canons de place, pour des charges qui sont dans un même rapport avec les poids des projectiles. La comparaison des résultats exprimés graphiquement le fait voir d'une manière évidente. On s'en rend compte en remarquant que le rapport des longueurs d'âme au calibre est notablement plus petit dans les premiers que dans les seconds, et que, au contraire, la différence entre le diamètre réglementaire de l'âme et le diamètre maximum du boulet est une fois et demie plus grande.

La concordance qu'il y a entre ces divers résultats, l'accord qui existe entre les différences et les causes qui ont dû les produire, font voir que les expériences, quoique exécutées en plusieurs années, peuvent être regardées comme faites dans des circonstances uniformes, et confirment ce qu'on avait déjà reconnu sur la constance des effets balistiques des poudres employées.

Représentation graphique de la relation entre les vitesses initiales et les poids des charges.

Pl. VII, fig. 2.

En s'aidant des résultats des diverses expériences sur la relation entre les vitesses initiales et les poids des charges de poudre représentés graphiquement, on a tracé les courbes régulières des vitesses pour les trois espèces de bouches à feu, de siége, de place et de campagne; afin d'éviter la confusion, on les a transportées à côté des premières. Les coordonnées de ces courbes ne diffèrent, en général, que par un petit nombre d'unités et par des quantités proportionnellement très-petites, des résultats immédiats de l'expérience. A l'aide de ces courbes, on a formé le tableau suivant :

Tableau de la relation régulière entre les vitesses initiales des boulets et les poids des charges de poudre ordinaire de guerre dans les canons de siége, de place et de campagne.

RAPPORT du poids de la charge au poids nominal du boulet.	CANON DE 24, DE SIÉGE.		CANON DE 12,				RAPPORT du poids de la charge au poids nominal du boulet.	CANON DE 16, DE SIÉGE.		CANON DE 8.		
				De place.		DE campagne.						
	Charges.	Vitesses.	Charges.	Boulet roulant. Vitesses.	Boulet ensaboté Vitesses.	Vitesses.		Charges.	Vitesses	Charges.	De place. Vitesses.	De campagne. Vitesses.
	kil	m:s	kil	m:s	m:s	m:s		kil	m:s	kil	m:s	m:s
1/96	0,125	73	0,0625	64	91	″	1/128	0,0625	″	0,031	49	″
1/48	0,250	121	0,125	108	137	120	1/64	0,125	97	0,0625	90	102
1/24	0,500	191	0,250	186	204	194	1/32	0,250	157	0,125	150	161
1/16	0,750	244	0,375	243	255	245	1/16	0,500	244	0,250	243	245
1/12	1,000	287	0,500	292	301	286	3/32	0,750	306	0,375	311	305
5/48	1,250	322	0,625	330	336	321	1/8	1,000	354	0,500	364	353
1/8	1,500	354	0,750	364	370	354	5/36	1,250	396	0,625	408	393
7/48	1,750	382	0,875	396	400	381	3/16	1,500	425	0,750	443	422
1/6	2,000	406	1,000	419	424	403	7/32	1,750	446	0,875	468	443
3/16	2,250	425	1,125	443	447	423	1/4	2,000	463	1,000	488	459
5/24	2,500	440	1,250	461	466	438	9/32	2,250	479	1,125	504	473
1/4	3,000	463	1,500	488	494	459	5/16	2,500	494	1,250	516	483
7/24	3,500	484	1,750	508	517	476	3/8	3,000	516	1,500	537	497
1/3	4,000	501	2,000	523	536	488	7/16	3,500	535	1,750	553	502
3/8	4,500	516	2,250	537	550	497	1/2	4,000	549	2,000	565	504
5/12	5,000	529	2,500	548	562	501	1/12	0,667	287	0,333	292	286
11/24	5,500	540	2,750	557	569	503	1/6	1,333	406	0,667	419	403
1/2	6,000	549	3,000	565	576	504	1/3	2,667	501	1,333	523	488

Pl. VII, fig. 1. On a représenté graphiquement la relation des vitesses initiales du boulet de 12, dans le tir avec un bouchon de foin mis dans une gargousse placée sur la poudre que renferme une autre gargousse, et celle du tir du canon de 16, avec une gargousse d'un très-petit diamètre et un boulet nu, c'est-à-dire, sans sabot ni bouchon. De ces deux modes de chargement employés, le second est actuellement le seul en usage avec les très-petites charges dans le tir à ricochet. On pourra appliquer la relation trouvée pour le canon de 16 au calibre de 24.

Au moyen de ces courbes, il sera facile de trouver, pour les diverses bouches à feu, la vitesse initiale des boulets correspondant à des charges qui n'auraient pas été soumises à l'expérience. Ainsi, pour les canons de 8, de place et de campagne, tirés à la charge de $1^{kil},333$, ou au $\frac{1}{3}$ du poids nominal du boulet, on trouve respectivement 522 et 488 mètres, et pour les mêmes canons, à la charge de 667 grammes, ou $\frac{1}{6}$ du poids du boulet, 420 et 404 mètres. Pour les canons de campagne, de 12 et de 8, tirés à la charge de guerre en usage, $1^{kil},958$ et $1^{kil},224$, on trouve 486 et 481 mètres. On peut déduire des mêmes courbes une relation régulière entre les vitesses et les poids des charges.

Remarques sur la relation entre les vitesses et les poids des charges. En considérant la représentation graphique de la relation qui existe entre les vitesses et les charges dans les divers canons, particulièrement dans trois d'entre eux, le 8 de campagne, le 12 de place (chargés tous deux à boulets ensabotés) et le 8 de place, pour lesquels d'ailleurs les résultats présentent le plus de régularité et s'étendent le plus bas, on remarque que la ligne des vitesses est sensiblement droite dans la partie qui correspond aux petites charges. On voit par là que, dans d'assez grandes limites, l'accrois-

sement des vitesses est proportionnel à l'accroissement de la racine carrée du poids des charges; à des charges plus grandes, le rapport des accroissements est moindre et décroît de plus en plus à mesure que les charges augmentent. Il est beaucoup diminué aux grandes charges en usage, comme celles du $\frac{1}{3}$ du poids du boulet, avec les canons courts de campagne, et celles de $\frac{1}{2}$ de ce poids avec les canons longs de siége; il en est à peu près de même pour les canons de place. Le rapport devient très-faible lorsqu'on dépasse les grandes charges en usage, et la vitesse s'approche alors de son maximum; le tracé fait voir que ce maximum a déjà sensiblement lieu pour le canon de 8, de campagne, à la charge de $\frac{1}{2}$ du poids du boulet, et qu'il n'est obtenu que par des charges notablement plus grandes avec les canons longs, de siége et de place.

Il est à remarquer que la ligne droite qui, dans les degrés inférieurs, représente la relation entre les vitesses et les racines carrées des charges, étant prolongée du côté de l'origine des coordonnées, ne passe pas par ce point. On conclut de là que, si les accroissements des vitesses sont sensiblement proportionnels aux accroissements des racines carrées des charges, les vitesses ne sont pourtant pas proportionnelles à ces racines carrées, même pour les petites charges, cas dans lequel on avait généralement admis cette proportionnalité.

Ces remarques s'appliquent à la relation entre les vitesses et les charges dans tous les canons et pour les divers modes de chargement; elles peuvent donc être regardées comme générales.

On trouve la raison de la différence entre la loi théorique de la proportionnalité et la loi réelle dans la diminution d'effet due au vent du projectile et à l'ouverture de la lu-

mière dont la première loi ne tient pas ou ne tient qu'imparfaitement compte. Cette diminution de vitesse peut être représentée par l'abaissement de la courbe, ou bien encore être exprimée par la perte d'une partie de la charge et être représentée par l'éloignement de l'origine de la ligne des vitesses mesurée sur la ligne des abscisses.

Relation entre les vitesses initiales des projectiles et les poids des charges de poudre dans les obusiers.

Les expériences sur la relation entre les vitesses initiales des projectiles et les poids des charges de poudre dans les obusiers ont été aussi étendues que le comportaient les bouches à feu, qui ne doivent jamais être tirées avec des charges d'un grand poids par rapport à celui de l'obus, et dont la limite est déterminée par la capacité de la chambre.

Avec les obusiers de 15 et de 16 centimètres, on a tiré aux charges en usage en campagne, l'une moitié de l'autre, et, avec le premier de ces obusiers, à deux autres charges, l'une des $\frac{3}{4}$ et l'autre du $\frac{1}{4}$ de la charge maximum. Avec l'obusier de montagne, on a tiré à la charge ordinaire de guerre, et à deux autres charges, la moitié et le quart de la première. Avec l'obusier de siége, on a tiré à diverses charges qui ont varié par degrés, depuis celle de 2 kilogrammes, qui remplit la chambre, jusqu'aux plus petites dont on fait usage. En outre, avec l'obusier de 16 centimètres, on a tiré aux très-petites charges, sans tampon ni sabot, comme on pourrait le faire dans le tir à ricochet, et avec l'obusier de 15 centimètres, à obus ensaboté, mais sans tampon, comme on pourrait le faire dans les siéges.

Les résultats de ces expériences sont renfermés dans le tableau suivant :

Tableau des vitesses initiales des obus et des reculs des obusiers à différentes charges de poudre ordinaire de guerre.

Désignation des bouches à feu et de leur mode de chargement	Charges de poudre			Projectiles.		Reculs de l'obusier-pendule — Produit du poids par la vitesse de recul.				Vitesses initiales des projectiles.				Observations.
	Poids	Diamètre	Hauteur de la poudre.	Poids	Diamètre.									
	kil	mm	mm	kil	mm	k.m.s			k.m.s	m:s			m:s	
Obusier de camp. de 15 cent. Chargement usité en campagne : Sachet, tampon et sabot.	0,250	97	50	7,700	148,91	1568	1571	1477	1533	189,9	187,0	174,3	183,2	Poids moyen des sabots 290 g. Tampon de 110mm pesant 278 grammes.
						1518				181,6				
	0,500	id.	80	id	148,88	2367	2369	2347	2367	269,5	272,9	266,4	271,4	Tampon de 80mm de longueur pesant 198 gr.
						2395	2300	2424		276,6	263,8	279,0		
	0,750	id.	113	id	148,87	3045	2985	3008	3035	337,7	330,5	334,5	330,3	Tampon de 48mm pesant 159 grammes.
	1,000	id.	149	id	148,89	3375	3469	3513	3454	372,6	368,4	372,5	368,4	Tampon de 20mm pesant 43 grammes.
						3440	3460	3467		364,4	368,1	364,3		
Avec gargousse et obus ensaboté.	0,125	id.	21	id	148,85	881	836	868	862	109,7	108,8	110,1	109,5	Poids moyen des sabots 290 grammes.
	0,250	id.	36	id.	148,89	1379	1408	1380	1403	161,2	166,3	163,8	165,4	
						1445				170,3				
	0,500	id.	71	id.	148,86	2308	2301	2256	2288	270,8	263,0	269,3	267,7	
	0,750	id.	103	id.	148,85	3029	3012	3004	3013	342,1	341,0	336,5	339,9	
	1,000	id.	136	id.	148,82	3593	3663	3607	3621	384,1	398,2	386,0	389,4	

Tableau des vitesses initiales des obus et des reculs des obusiers à différentes charges de poudre ordinaire de guerre. [Suite.]

DÉSIGNATION des bouches à feu et de leur mode de chargement.	CHARGES DE POUDRE. Poids.	CHARGES DE POUDRE. Diamètre.	CHARGES DE POUDRE. Hauteur de la poudre.	PROJECTILES. Poids	PROJECTILES. Diamètre	RECULS DE L'OBUSIER-PENDULE. Produit du poids par la vitesse de recul.		VITESSES initiales des projectiles		OBSERVATIONS.
	kil	mm	mm	kil	mm	k m:s	k m:s	m.s	m.s	
Obusier de mont.	0,270	80	58	4,280	118,32	" " "	"	245,0 245,8 244,4	245,1	
Chargement usité;	0,135	id.	39	id.	118,36	" " "	"	142,3 150,1 148,0	150,4	
obus ensab. et charg.						"		161,3		
liée au sabot.	0,0675	id.	27	id.	118,28	" " "	"	93,6 98,3 99,3	97,1	
Obusier de camp.	0,750	112	88	11,200	162,90	3531 3538 3528	3525	279,3 275,3 271,0	274,4	
de 16 *c.* Chargement						3494 3532		269,2 277,2		
usité en campagne:	1,500	113	162	id.	162,90	5216 5271 5179	5241	369,3 378,0 380,1	379,7	
Sachet, tampon,						5168 5314 5320		370,0 392,6 388,6		
obus ensaboté.						5235 5213 5247		377,0 379,8 382,1		
Avec gargousse	0,100	77	28	id.	162,81	917 903 892	904	77,2 83,7 80,2	80,4	
sans sabot	0,200	id.	51	id.	162,86	1396 1407 1436	1413	118,5 120,0 122,6	120,4	
	0,400	id.	94	id.	162,8[illegible]	2245 2317 2254	2271	182,5 189,9 182,9	185,4	
	0,250	109	34	23,000	219,86	1872 1991 1918	1894	88,4 89,6 91,1	89,7	
Obusier de siége	0,375	id.	48	id.	219,86	2572 2604 2603	2593	120,7 122,2 120,6	121,2	
de 22 *cent.*	0,500	id.	59	id.	219,86	3158 3175 3142	3158	143,7 145,9 142,9	144,2	
Chargement	1,000	id.	116	id.	219,97*	4990 4949 5042	5010	217,2 215,0 219,8	218,9	* Diamètre moyen des deux prem. .. 219mm,41, des 3 interm. 220mm,06, des 2 derniers 220mm,41
en usage avec garg.,						4968 5040 5042		219,6 220,8 220,7		
obus éclissé.						5041		219,1		
	1,500	id.	172	id.	219,86	6092 6056 5939	6029	253,7 255,6 252,9	254,1	
	2,000	id.	230	id.	219,87	6924	6924	276,7	276,7	

Représentation graphique de la relation entre les vitesses initiales des obus et les poids des charges.

On a représenté graphiquement la relation entre les vitesses initiales et les poids des charges, comme on l'a fait pour les canons. Les abscisses sont les racines carrées du rapport des poids des charges à ceux des projectiles, abstraction faite du poids du chargement; les ordonnées sont les vitesses. Sous ce rapport, le tableau suivant est le résumé de ceux qui précèdent :

Tableau résumé des relations entre les vitesses initiales des obus et les poids des charges de poudre ordinaire de guerre dans les obusiers de campagne, de siége et de montagne.

DÉSIGNATION des bouches à feu et de leur mode de chargement.	POIDS des charges.	RACINES carrées des rapports des poids des charges à ceux des obus.	VITESSES initiales
	kil		m:s
Obusier de campagne de 15 cent.	0,250	0,1802	183,2
Obus de 7^{kil},700	0,500	0,2548	271,4
ensaboté; sachet et tampon.	0,750	0,3121	330,3
	1,000	0,3604	368,4
Obusier de campagne de 15 cent.	0,125	0,1274	109,5
Obus de 7^{kil},700.	0,250	0,1802	165,4
Chargement avec gargousse	0,500	0,2548	267,7
sans tampon ;	0,750	0,3121	339,9
obus ensaboté.	1,000	0,3604	389,4
Obusier de montagne.	0,0675	0,1256	97,8
Obus de 4^{kil},280.	0,135	0,1776	150,4
Chargement en usage.	0,270	0,2512	246,8
Obusier de camp. de 16 c. Obus de	0,750	0,2588	274,4
11^{kil},200. Chargement en usage.	1,500	0,3664	379,9
Obusier de campagne de 16 cent.	0,100	0,0945	80,4
Obus de 11^{kil},200	0,200	0,1336	120,4
avec gargousse, sans sabot.	0,400	0,1890	185,4
	0,250	0,1043	89,7
Obusier de siége de 22 cent.	0,375	0,1278	121,2
Obus de 23 kilog.	0,500	0,1475	144,2
Chargement en usage avec gar-	1,000	0,2085	218,9
gousse; obus éclissé.	1,500	0,2557	254,1
	2,000	0,2949	276,7

L'examen des lignes des vitesses, construites à l'aide du tableau qui précède, donne lieu aux mêmes remarques que Pl. VII, fig. 3.

pour les canons. L'accroissement de la vitesse est proportionnel à celui de la racine carrée du rapport du poids des charges au poids de l'obus. Cette propriété s'observe plus près des grandes charges en usage que dans les canons, parce que le poids de ces charges n'est jamais qu'une petite fraction du poids de l'obus.

Cependant avec l'obusier de siége, lorsque la charge est les $\frac{2}{23}$ du poids de l'obus, le rapport des accroissements est déjà assez petit. Ce résultat tient à la faible longueur d'âme de cet obusier, comparativement aux autres bouches à feu; il est analogue à celui qu'a donné le canon de 8, de campagne, à la charge de moitié du poids du boulet, comparativement aux canons de siége et de place.

Remarques sur la relation entre les vitesses et les charges.

Dans tous les obusiers, de même que dans les canons, la ligne droite qui représente la relation entre les vitesses et les petites charges, étant prolongée du côté de l'origine des coordonnées, laisse ce point au-dessus d'elle. Ce fait est général.

Les lignes droites, représentatives de la loi des vitesses aux petites charges avec les divers obusiers, sont, à très-peu près, parallèles, mais situées à des hauteurs différentes, dans l'ordre suivant : obusier de 22 centimètres, obusier de 16 centimètres, obusier de 15 centimètres. C'est l'ordre des différences entre les diamètres des obus et des obusiers, qui sont bien d'une même grandeur absolue, mais qui sont proportionnellement moindres dans la première bouche à feu que dans les suivantes.

L'influence de la faible longueur d'âme ne se fait sentir pour l'obusier de siége qu'avec les grandes charges. Le rapport est moindre pour l'obusier de montagne, dans lequel le vent moyen du projectile est proportionnellement plus grand et la longueur d'âme plus petite que dans les obusiers de campagne; ce vent moyen est ici la différence entre le

diamètre de l'âme et celui de la lunette intermédiaire entre la grande et la petite lunette de l'obus.

Les expériences sur la détermination de la charge qui communique au projectile le maximum de vitesse ont été faites avec les canons de 12, de place, et de 8, de campagne, qui présentent respectivement le rapport le plus grand et le plus petit entre la longueur d'âme et le calibre.

Charges de poudre qui communiquent aux projectiles le maximum de vitesse.

On a tiré, avec le canon de 12, en suivant le mode de chargement en usage, aux charges de 4, 5, 6, 7, 8 et 10 kilogrammes; on s'est arrêté à cette dernière charge, parce que la vitesse initiale commence à décroître, et parce que les coussinets en fonte de l'appareil de suspension du canon se dégradaient, et que des accidents eussent été à craindre si l'on eût employé des charges plus fortes.

On a fait usage, pour le canon de 8, du même mode de chargement que pour la pièce de 12, c'est-à-dire à boulet roulant, avec deux bouchons de foin, afin de rendre plus exactes les comparaisons entre les bouches à feu de longueurs d'âme différentes. Les expériences sur la relation entre les vitesses et les poids des charges dans le tir à boulet ensaboté, avaient été assez étendues pour qu'on pût déterminer, à très-peu de chose près, la vitesse maximum; on a tiré aux charges de 2, 3 et 4 kilogrammes.

Avec le canon de 12, au moyen d'obus de ce calibre, on a déterminé la charge qui donne le maximum de vitesse aux projectiles d'une densité moindre que celle des boulets. On a tiré des obus du poids de 4 kilogrammes environ, $\frac{2}{3}$ de celui du boulet; un coup à chaque charge a été suffisant pour accuser, d'une manière évidente, la diminution des vitesses résultant de l'accroissement des charges.

Le tableau suivant contient le résultat des trois séries d'épreuves sur la recherche de la charge qui donne le maximum de vitesse :

Tableau des expériences sur la recherche des charges qui communiquent aux projectiles le maximum de vitesse.

DÉSIGNATION des bouches à feu et de leur mode de chargem.	POIDS de la poudre	HAUTEUR de la poudre	POIDS des projectiles.	DIAMÈTRE.	RECULS DU CANON-PENDULE. Produit du poids par la vites. de recul.		VITESSES initiales des projectiles.	
	kil	mm	kil		k.m:s	k.m:s	m:s	m:s
Canon de 12, de place, à boulet roulant.	4,000	406	6,097	Entre les 2 lunet.	6379 6315	6347	603,4 608,3	605,9
	5,000	498	6,099	*id.*	7368 7061 7132	7187	652,9 601,3 628,3	627,5
	6,000	583	6,109	*id.*	7565 7879 7904	7783	621,2 641,9 640,4	634,5
	7,000	694	6,108	*id.*	8333	"	639,8	"
	8,000	781	6,105	*id.*	9661 9633	9647	652,5 649,6	651,1
Canon de 12, de place, à obus roulant.	4,000	405	4,020	*id.*	5602	"	715,2	"
	5,000	505	4,020	*id.*	6249	"	740,6	"
	6,000	612	4,010	*id.*	7315	"	748,0	"
	7,000	686	4,010	*id.*	7379	"	708,5	"
Canon de 8, de campagne, à boulet roulant.	2,000	269	4,071	*id.*	3579	"	518,3	"
	3,000	401	4,073	*id.*	4201 4268	4235	516,5 528,3	522,4
	4,000	535	4,070	*id.*	4775	"	505,3	"

Représentation graphique.

Pour faciliter la comparaison de ces divers résultats entre eux, ainsi que la détermination des charges et des vitesses cherchées, on a représenté graphiquement la relation entre les vitesses et les poids des charges, en prenant pour abscisses le simple rapport du poids de la charge au poids nominal du boulet, et les vitesses initiales pour ordonnées. On a rapporté de la même manière le résultat des expériences avec le canon de 8 de campagne. On est parti des plus grandes charges en usage, qui peuvent seules servir à la recherche dont il est question.

En examinant les tracés représentés, on reconnaît une régularité assez grande dans les moyennes, quoiqu'elles soient prises sur un petit nombre de coups, et l'on a pu tracer la courbe des vitesses.

Avec le canon de 12 de place, aux charges de 4, 5, 6, 7 et 8 kilogrammes, les vitesses de $605^m,9$, $627^m,5$, $634^m,5$, $639^m,8$, $651^m,1$ ont été constamment en augmentant. Ce n'est qu'à la charge de 10 kilogrammes que l'on a obtenu une vitesse de 648 mètres, un peu inférieure à la précédente. La charge de 8 kilogrammes a donc donné la plus grande vitesse. Si l'on considère la courbe des vitesses, on remarquera que la vitesse maximum est à peu près de 650 mètres, et sans assigner précisément la charge qui y correspond, on voit qu'on a obtenu à très-peu près cette vitesse avec des charges de 8 et 10 kilogrammes de poudre, lesquelles sont respectivement une fois un tiers et une fois deux tiers le poids du projectile. Pl. VIII, fig. 1.

En tirant le même canon avec des obus de 4 kilogrammes environ, ou deux tiers du poids du boulet, aux charges de 4, 5, 6, 7 kilogrammes de poudre, on a obtenu respectivement les vitesses $715^m,2$, $740^m,6$, $748^m,0$, $708^m,5$. La charge de 6 kilogrammes, ou une fois et demie le poids du projectile, a donné la plus grande vitesse. Le tracé d'une courbe par les quatre points qui représentent chacune de ces expériences, fait voir que c'est à cette charge que correspond, à très-peu près, le maximum de vitesse, qui est d'environ 748 mètres; vitesse, sans doute, la plus grande qu'on ait obtenue jusqu'ici. On doit remarquer que ce rapport, un et demi, est compris entre les deux rapports quatre tiers et cinq tiers, qui dans le tir à boulet ont donné le maximum de vitesse. Pl. VIII, fig. 2.

Le tir du canon de 8, chargé à boulet roulant, aux charges de 2, 3 et 4 kilogrammes de poudre, a donné respectivement les vitesses de $518^m,8$, $522^m,4$, $505^m,3$. La Pl. VIII, fig. 3.

charge de 3 kilogrammes a ainsi produit la plus grande vitesse. Cependant ce n'est pas à cette charge que paraît correspondre la vitesse maximum; et, si l'on considère que, pour une différence de 1 kilogramme dans les charges, la différence dans les vitesses est beaucoup plus faible entre 3 et 2 kilogrammes qu'entre 3 et 4 kilogrammes, on reconnaîtra que c'est entre les deux premières qu'est le maximum de vitesse, et que la charge de moitié du poids du boulet donne, à très-peu près, cette vitesse maximum.

Pl VIII, fig. 4. Dans le tir à boulet ensaboté, on n'a pas dépassé la charge du maximum de vitesse; mais, si l'on considère qu'avec les charges de $1^{kil},250$, $1^{kil},500$, $1^{kil},750$ et $2^{kil},000$ on a obtenu les vitesses $483^m,1$, $497^m,1$, $501^m,3$, $502^m,8$, on reconnaîtra que lorsque les charges s'approchent de 2 kilogrammes, moitié du poids du boulet, la vitesse ne s'accroît presque pas pour des accroissements notables de la charge, et on en conclura qu'à la charge de 2 kilogrammes, qui a donné $502^m,8$ de vitesse, on a obtenu, à très-peu de chose près, le maximum de la vitesse. Ce fait est rendu plus palpable par le tracé graphique de la relation entre les vitesses et les charges dans le canon de campagne de 8, de la *Pl. VII*.

En résumé, pour les canons de place longs, la charge d'une fois et demie le poids du projectile, celui-ci étant, soit un boulet plein en fonte, soit un obus d'un poids égal aux deux tiers du premier, donne, à très-peu près, le maximum de vitesse.

Pour les canons de campagne courts, on a obtenu approximativement la vitesse maximum en employant, soit à boulet roulant, soit à boulet ensaboté, une charge de moitié du poids du boulet.

Effets de recul des Les bouches à feu montées en pendule, comme dans les expériences dont il vient d'être question, fournissent la vi-

tesse de recul qu'elles ont acquise au moment où le projectile et les gaz enflammés sont sortis de l'âme. bouches à feu.

Les formules en usage donnent seulement le produit du poids de la bouche à feu et de l'appareil de suspension, par la vitesse de recul d'un point de l'axe de la bouche à feu, point situé dans le plan vertical des couteaux, lorsque la bouche à feu est horizontale. Ce produit n'est autre que la quantité de mouvement de la bouche à feu et de l'appareil réunis, multipliée par le nombre qui représente la pesanteur. Si l'on divise ce produit par le poids du pendule, on aura la vitesse d'un point de l'axe de la bouche à feu à l'instant où les gaz cessent d'exercer leur action sur le fond de l'âme. Cette vitesse serait celle que prendrait le pendule dans la direction de l'âme, si l'on supposait sa masse symétriquement répartie autour de l'axe de celle-ci.

Il n'est pas nécessaire de considérer cette vitesse particulière, parce qu'elle dépend de la masse de l'appareil, qui n'a aucun rapport avec celle des affûts sur lesquels sont placées les bouches à feu. C'est pour cette raison que, dans les tableaux des résultats d'expérience, la grandeur des vitesses de recul est exprimée par le produit du poids en kilogrammes et de la vitesse en mètres parcourus en une seconde, tel qu'il résulte des formules en usage. Ce produit est néanmoins facile à représenter par une vitesse. En effet, l'application du calcul au mouvement des projectiles dans les bouches à feu, fait voir que, quelle que soit la masse de la bouche à feu et du système qui se meut avec elle, pourvu que cette masse soit considérable relativement à celle du projectile, elle n'influe pas sensiblement sur la quantité de mouvement qu'elle acquiert par l'action des gaz de la poudre. Par conséquent, en divisant le produit dont il s'agit, par le poids de la bouche à feu seule, on aura la vitesse qu'aurait acquise cette bouche à feu, si elle eût été assujettie à se mouvoir en ligne droite dans sa propre direction sur un plan horizontal et sans

frottement. En divisant le même produit par la somme des poids de la bouche à feu et de l'affût, on obtiendra la vitesse du système de la bouche à feu et de l'affût réunis, assujettis à se mouvoir en ligne droite. Si l'on suppose que ce poids est exactement 1 000 kilogrammes, la vitesse de recul sera la millième partie du produit, c'est-à-dire que le produit en question exprimera, en millimètres par seconde, la vitesse du système qui pèserait 1 000 kilogrammes.

Tableau des effets de recul des bouches à feu exprimés par le produit du poids en kilogrammes et de la vitesse de recul en mètres par seconde, ou par la vitesse en millimètres par seconde, d'une masse de 1 000 kilogrammes.

POIDS des charges.	PRODUIT DU POIDS ET DE LA VITESSE DE RECUL DANS LES CANONS DE SIÉGE, DE PLACE ET DE CAMPAGNE. TIR A BOULET ROULANT.				TIR A BOULET ENSABOTÉ		
	De 24, de siége.	De 16, de siége.	De 12, de place.	De 8, de place	De 12, de place.	De 12, de campag.	De 8, de campag
kil	k.m.s	k.m.s	k.m.s	k.m.s	k.m.s	k.m.s	k.m.s
0,031	"	"	"	213	"	"	"
0,062	"	"	418*	341	549	"	424
0,125	"	825	727*	683	855	"	708
0,250	"	1401	1291	1121	1358	1332	1143
0,500	2672	2289	2065	1799	2169	2054	1759
0,750	"	"	2671	2315	2730	2543	2221
1,000	4625	3646	3244	2654	3244	3064	2583
1,250	"	"	3691	2836	"	"	2839
1,500	5887	4487	4101	3142	4048	3793	3050
1,750	"	"	"	3435	"	"	3189
2,000	6343	5167	4832	3573	4654	4254	3360
2,500	7034	"	5219	"	5229	"	"
3,000	7789	6217	5535	"	5606	"	"
4,000	8412	7309	"	"	"	"	"
6,000	9938	"	"	"	"	"	"

(*) Chargement avec double gargousse.

Le canon de 12, de place, tiré à boulet roulant, a donné 1730 k.m.s à la charge de 0k,378.

Le canon de 16 a donné

4222 k.m.s à la charge de 1,333 kil, 3865 k.m.s à la charge de 2,667 kil, 6663 k.m.s à la charge de 3,500 kil.

Tableau des effets de recul des bouches à feu exprimés par le produit du poids en kilogrammes et de la vitesse de recul en mètres par seconde, ou par la vitesse en millimètres par seconde, d'une masse de 1 000 *kilogrammes.* [Suite.]

POIDS des charges.	PRODUIT DU POIDS et de la vitesse de recul dans les canons.			POIDS des charges.	PRODUIT DU POIDS et de la vitesse de recul dans les obusiers de campagne et de siége avec le chargement en usage.		
	De 12, de place, à boulet roulant.	De 12, de place, à obus de 5 kil.	De 8, de camp. à boulet roulant.		De 15 c. Obus de 7^{kil},70.	De 16 c. Obus de 11^{kil},20.	De 22 c. Obus de 23 kilog.
kil	k.m:s	k.m:s	k.m:s	kil	k.m:s	k.m:s	k.m:s
2,000	"	"	3579	0,250	1533	"	1885
3,000	"	"	4235	0,375	"	"	2582
4,000	6347	5602	4775	0,500	2367	"	3145
5,000	7187	6249	"	0,750	3035	3525	"
6,000	7783	7315	"	1,000	3454	"	4988
7,000	8333	7379	"	1,500	"	5241	6003
8,000	9647	"	"	2,000	"	"	6894
10,000	10554	"	"	"	"	"	"

Les nombres de ce tableau, placés sur une même ligne horizontale, sont les effets de recul obtenus avec une charge de même poids dans les diverses bouches à feu.

En considérant le résultat du tir à boulet ensaboté des canons de 12, de place et de campagne, qui ne diffèrent que par la longueur d'âme, on voit qu'à égalité de calibre, des charges de même poids communiquent aux bouches à feu les plus longues, les quantités de mouvement les plus grandes. Il en est ici comme des vitesses initiales des boulets.

La comparaison du tir des canons de campagne, de 12 et de 8, fait voir que, pour des bouches à feu dans lesquelles le rapport des longueurs d'âme au calibre reste le même, la quantité de mouvement croît avec le calibre. La comparaison des canons de 12 et de 8, de place, présente un résultat

semblable, quoique le second canon ait proportionnellement un peu plus de longueur; il en est de même aussi de la comparaison des canons de 24 et de 16, de siége, et de ceux-ci avec les canons de place.

La comparaison entre les reculs des canons de 24 et de 16, de siége, et ceux des canons de 12, de place, et de 8, de campagne, aux charges de 3, 4 et 6 kilogrammes, qui dépassent, pour le dernier calibre, les charges en usage, présente encore le même résultat.

La comparaison des résultats du tir du canon de 12, de place, à boulet et à obus, fait voir que, tout étant égal d'ailleurs, la quantité de mouvement du recul croît avec la densité du projectile.

La comparaison des résultats du tir des obusiers entre eux fait voir qu'il en est pour le recul des obusiers de 15 et de 16 centimètres, comme pour celui des canons de 12 et de 8, de campagne. De même aussi, avec l'obusier de siége, les quantités de mouvement sont plus grandes qu'avec celui de campagne, malgré le peu de longueur d'âme. L'influence du poids du projectile est assez sensible pour qu'avec l'obusier de 22 centimètres, la quantité de mouvement de recul soit plus grande qu'avec le canon de 24; à charge égale, l'obusier de 15 centimètres reçoit une quantité de mouvement à peu près égale à celle du canon de 16; elle est plus grande aux petites charges et un peu moindre à la plus grande charge en usage avec l'obusier.

Vitesse de recul des bouches à feu seules et montées sur affût.

On obtient la vitesse absolue de recul d'une bouche à feu en divisant par son poids les produits du poids de l'appareil par sa vitesse. Le tableau ci-après contient ces vitesses pour les principales charges en usage avec les canons et les obusiers, et avec ces bouches à feu montées sur affûts; on a considéré les affûts de siége et de place pour les canons de 16 et de 24, et pour chaque cas on a indiqué, dans l'entête du tableau, les poids employés pour diviseurs.

Tableau des vitesses de recul des bouches à feu seules et des bouches à feu montées sur affûts, supposées reculer librement et sans frottement sur un plan horizontal.

RAPPORT du poids de la charge a celui du boulet.	VITESSE DE RECUL DES CANONS DE SIÉGE ET DE PLACE, DE									
	24			16			12		8	
	Seul.	Sur affût de Siége	Sur affût de Place	Seul	Sur affût de Siége	Sur affût de Place	Seul.	Sur affût.	Seul.	Sur affût.
	2732k	3373k	3191k	1987k	2536k	2419k	1562k	1957k	1054k	1320k
	m.s	m.s	m.s	m.s	m.s	m.s	m.s	m.s	m.s	m.s
1/24	0,978	0,792	0,838	"	"	"	0,826	0,658	"	"
1/16	"	"	"	1,152	0,902	0,946	"	"	1,065	0,849
1/12	1,692	1,370	1,449	"	"	"	1,332	1,055	"	"
1/8	2,155	1,746	1,846	1,835	1,438	1,507	1,710	1,365	1,711	1,363
1/6	2,321	1,880	1,998	2,125	1,665	1,745	2,077	1,657	2,030	1,625
1/4	2,851	2,309	2,442	2,600	2,037	2,136	2,625	2,095	2,520	2,006
1/3	3,079	2,494	2,637	2,951	2,313	2,424	3,093	2,469	2,790	2,220
1/2	3,638	2,946	3,115	3,628	2,843	2,980	3,544	2,828	3,393	2,707

RAPPORT du poids de la charge a celui du boulet.	VITESSE DE RECUL des canons de campagne, de				POIDS des charges.	VITESSE DE RECUL des obusiers de siége et de campagne, de					
	12		8			22c		16c		15c	
	Seul.	S. affût	Seul.	S. affût		Seul.	S. affût	Seul.	S. affût	Seul.	S. affût
	882k	1249k	567k	894k		1228k	1869k	861k	1228k	581k	909k
	m.s	m.s	m.s	m.s	kil	m.s	m.s	m.s	m.s	m.s	m.s
1/16	"	"	2,015	1,278	0,250	1,555	1,009	"	"	2,639	1,687
1/12	2,334	1,670	"	"	0,375	2,103	1,383	"	"	"	"
1/8	2,883	2,037	3,103	1,967	0,500	2,567	1,683	"	"	4,074	2,604
1/6	3,474	2,454	3,650	2,310	0,750	"	"	4,094	2,870	5,224	3,339
1/4	4,300	3,036	4,555	2,889	1,000	4,062	2,669	"	"	5,945	3,800
1/3	4,823	3,406	5,130	3,270	1,500	4,888	3,212	6,087	4,268	"	"
Charge de guerre en usage.	4,770	3,370	4,830	3,130	2,000	5,614	3,689	"	"	"	"

La comparaison des vitesses de recul des bouches à feu, soit seules, soit réunies à leur affût, conduit aux résultats suivants :

Dans le tir à des charges de poudre dont les poids sont une même fraction de celui du boulet, les vitesses de recul des canons de siége ou de place sont peu différentes les unes des autres. Celles de petits calibres dont les poids sont proportionnellement plus considérables, sont généralement plus petites que les autres. Il en est de même pour les canons montés sur leurs affûts de place et pour les canons de 16 et de 24 montés sur leurs affûts de siége.

Les vitesses de recul des canons de campagne sont notablement plus grandes que celles des canons de place de même calibre. Il en est de même pour les canons montés sur affûts. Les vitesses de recul des canons de 12 et de 8, de campagne, soit seuls, soit montés sur affûts, diffèrent peu les unes des autres. Celles du canon de 8 sont un peu plus grandes lorsqu'il est seul, et sont, au contraire, un peu moindres lorsqu'il est sur affût.

Les vitesses de recul des obusiers de 15 et de 16 centimètres sont à peu près égales entre elles pour la grande et pour la petite charge en usage à la guerre.

En comparant entre elles les vitesses obtenues avec les obusiers de 16 centimètres, tirés à la grande charge, et avec les canons de 12, de campagne, tirés à la charge en usage à la guerre, on reconnait que la vitesse des obusiers surpasse celle des canons de plus d'un quart; et, comme ces bouches à feu sont placées sur les mêmes affûts, il s'ensuit que les obusiers les fatiguent beaucoup plus que les canons.

La comparaison des vitesses des canons de 8 et des obusiers de 15 centimètres conduit aux mêmes résultats.

En comparant l'obusier de siége de 22 centimètres et le canon de 24, qui ont un affût commun, on voit que, tirés à la charge de 2 kilogrammes, ils ont, sans affûts, les

vitesses respectives de $5^m,614$ et $2^m,321$, qui sont dans le rapport de $2\frac{1}{2}$ à 1. Aux plus grandes charges en usage, 6 kilogrammes pour le canon et 2 kilogrammes pour l'obusier, la vitesse de celui-ci surpasse encore l'autre de la moitié de sa valeur, et l'obusier communique à son affût une vitesse beaucoup plus grande que le canon tiré à une charge trois fois plus grande. Il doit, par conséquent, le fatiguer beaucoup plus.

Pour que l'obusier n'acquît que la même vitesse que le canon de 24 chargé à 6 kilogrammes de poudre, la charge devrait être réduite à environ 750 grammes; et, pour que le même résultat fût obtenu lorsque la bouche à feu est réunie à son affût, la charge devrait être d'environ $1^{kil},250$.

De toutes les bouches à feu tirées aux plus grandes charges de guerre en usage, c'est l'obusier de 16 centimètres qui acquiert la plus grande vitesse de recul; elle est de plus de 6 mètres par seconde. Lorsque cet obusier est monté sur son affût, la vitesse est encore de plus de 4 mètres par seconde.

Rapport des quantités de mouvement des projectiles et des bouches à feu.

La vitesse de recul d'une arme ou d'une bouche à feu, et la vitesse initiale des projectiles ont entre elles une relation dont il est très-utile de se rendre compte, et qui est exprimée par des formules destinées à faire connaître la vitesse du projectile par la vitesse du recul.

En général, avec une même bouche à feu, un même projectile et une même charge de poudre, l'accroissement de la vitesse du projectile d'un coup à l'autre est indiqué par l'accroissement de la vitesse de recul, et réciproquement; cette relation se reconnaît dans le tableau des vitesses de ce rapport. Cependant cette règle n'est pas absolue, et, lorsque les différences de vitesse de deux coups sont petites, la plus grande des deux vitesses initiales correspond quelquefois à la plus petite des deux vitesses de recul, et réciproquement. Mais une grande différence dans le

rapport des vitesses indiquerait qu'une circonstance quelconque a fait varier la vitesse du boulet et celle de la bouche à feu d'une manière anormale; c'est donc un indice très-utile dans les expériences pour reconnaître les anomalies.

En comparant les quantités de mouvement d'une bouche à feu à celles de son projectile, on arrive à des relations plus générales; on obtient leur rapport en divisant le produit du poids de la bouche à feu et de la vitesse donnée dans les tableaux qui précèdent, par le poids et la vitesse du projectile. Ces rapports sont indiqués dans le tableau suivant pour les diverses bouches à feu soumises à l'expérience avec les projectiles et le chargement en usage. Il faut en excepter l'obusier de montagne qui, comme on l'a dit, n'a pas été monté en pendule.

Tableau du rapport entre la quantité de mouvement de la bouche à feu et celle du projectile.

RAPPORT du poids de la charge au poids nominal du boulet.	RAPPORT ENTRE LES QUANTITÉS DE MOUVEMENT DANS LES CANONS						
	Tirés à boulet roulant.				Tirés à boulet ensaboté.		
	De siége de		De place de		De place de	De campagne de	
	24	16	12	8	12	12	8
1/96	"	"	"	"	0,990	"	"
1/64	"	1,079	"	0,994	"	"	1,018
1/48	"	"	"	"	1,055	"	"
1/32	"	1,091	"	1,093	"	"	1,080
1/24	1,163	"	1,113	"	1,088	1,059	"
1/16	"	1,155	1,146	1,146	"	"	1,135
1/12	1,237	"	1,159	"	1,177	1,112	"
1/8	1,265	1,257	1,239	1,199	1,205	1,190	1,220
1/6	1,339	1,294	1,264	"	1,251	1,237	"
3/16	"	1,316	"	1,273	"	"	1,281
5/24	1,401	"	1,315	"	"	"	"
1/4	1,394	1,383	1,375	1,338	1,333	1,372	1,385
5/16	"	"	"	1,379	"	"	1,446
1/3	1,434	1,469	1,452	"	1,431	1,424	"
3/8	"	1,502	"	1,466	"	"	1,511
5/12	"	"	1,523	"	1,524	"	"
7/16	"	1,548	"	1,540	"	"	1,567
1/2	1,515	1,617	1,606	1,572	1,599	"	1,645

OBSERVATION — Le rapport des quantités de mouvement aux charges de guerre en usage, 1 kil,958 et 1 kil,224, avec les canons de campagne de 12 et de 8, sont respectivement de 1,420 et 1,431.

Tableau du rapport entre la quantité de mouvement de la bouche à feu et celle du projectile. [Suite.]

POIDS des charges.	RAPPORT de la quantité de mouvement dans le tir des canons de 12, de place, à boulet roulant.	12, de place, avec obus de 4 kil.	8, de camp., à boulet roulant.	POIDS des charges.	RAPPORT de la quantité de mouvement dans le tir des obusiers de 15 cent., obus de $7^{kil},700$.	16 cent., obus de $11^{kil},200$.	22 cent., obus de 23 kilog.
kil 2	"	"	1,695	kil 0,250	1,087	"	0,918
3	"	"	1,990	0,375	"	"	0,930
4	1,719	1,948	2,323	0,500	1,133	"	0,952
5	1,879	2,099	"	0,750	1,193	1,147	"
6	2,008	2,439	"	1,000	1,218	"	1,001
7	2,132	2,597	"	1,500	"	1,236	1,032
8	2,427	"	"	2,000	"	"	1,090
10	2,665	"	"				

Les résultats contenus dans le tableau qui précède font voir que les rapports entre les quantités de mouvement de la bouche à feu et celles du projectile, croissent d'une manière constante avec le poids des charges de poudre. Avec les très-petites charges, ce rapport diffère peu de l'unité; il la dépasse respectivement des $\frac{1}{9}$ et de $\frac{1}{5}$, aux charges du tiers et de la moitié du poids du boulet. Il croit ensuite très-rapidement; il est de $2\frac{2}{3}$ dans le canon de 12 de place, à la charge de 10 kilogrammes.

Les nombres placés sur une même ligne horizontale du tableau ci-dessus, correspondent à des charges dont les poids sont une même fraction du poids du projectile. Ces rapports présentent, dans les diverses bouches à feu, des différences en général peu considérables et qui tiennent à des relations entre les dimensions de la bouche à feu.

NOTE PREMIÈRE,

Relative aux résistances qu'éprouvent les appareils balistiques dans leur mouvement et aux forces étrangères qui agissent sur eux.

La vitesse que le projectile possède à l'instant où il vient frapper le récepteur balistique, n'est pas indiquée avec une exactitude absolue, par l'amplitude du recul de l'appareil. Les formules en usage ne donneraient la vitesse précise du projectile que pour le cas où aucune résistance n'aurait contrarié le mouvement du pendule, ou qu'aucune force étrangère n'ajouterait son effet à celui du projectile. Il n'en est pas ainsi : d'une part, le frottement des couteaux sur les coussinets, la résistance que l'air oppose au mouvement du pendule, le frottement des curseurs sur les arcs divisés, diminuent à chaque instant cette vitesse et finalement l'étendue de l'oscillation ; d'une autre part, les gaz sortant de la bouche à feu, avant ou après le projectile, avec une vitesse qui est, pour une partie au moins, plus grande que celle du mobile, produisent sur le récepteur une action indépendante de l'effet qu'on se propose de mesurer.

Ces différentes forces, par suite des précautions qu'on prend, sont généralement peu importantes, eu égard à celles que l'on considère ; mais elles ne sont pas toujours négligeables, surtout aux grandes charges. On s'est proposé de les estimer, au moins approximativement, afin de déterminer la limite des erreurs qu'on peut craindre, et de corriger, au besoin, le résultat des formules ordinaires.

Dans les expériences qu'on a faites antérieurement à celles dont il est ici question, on s'est contenté d'atténuer le

frottement des couteaux sur les coussinets, et d'éviter le frottement des curseurs sur les arcs divisés, en faisant tracer les arcs de recul dans des graisses solides; mais il n'a pas été possible d'éviter l'effet de la résistance de l'air au mouvement du pendule. Ces causes tendent toutes à réduire l'amplitude et à indiquer des vitesses trop faibles. Ici, comme on va le voir, on a obtenu, par l'observation même, la mesure de ces diverses résistances. On a fait osciller le pendule, et l'on a observé le décroissement des amplitudes, dans le cas où les aiguilles entraînaient les curseurs, et dans le cas où elles ne les entraînaient pas.

On a mis le pendule en mouvement, sous des amplitudes aussi grandes que celles qu'on avait à corriger. Pendant que le pendule opérait son mouvement d'oscillation du côté opposé aux arcs gradués, on approchait les deux curseurs du zéro de la division; par suite, lorsque le pendule arrivait au bas de sa course, les aiguilles rencontraient les curseurs et les entraînaient sur les arcs en fer, jusqu'à ce que le pendule eût atteint le point le plus élevé; là, les aiguilles abandonnaient les curseurs et le pendule descendait le long de l'arc, pour remonter de l'autre côté et redescendre de nouveau. Pendant ce temps, on ramenait les curseurs à zéro, d'où ils étaient de nouveau entraînés, puis abandonnés à leur point le plus haut, et ainsi de suite. Après chaque oscillation, la position du curseur était moins élevée que dans la précédente; la différence entre les deux positions successives, ou le décroissement de l'amplitude, était due, 1° à la résistance des curseurs dans la demi-oscillation ascendante du côté de l'arc; 2° à la résistance des couteaux sur les coussinets; 3° à la résistance de l'air sur l'appareil; ces deux dernières résistances agissaient pendant quatre demi-oscillations.

Or, dans la correction à faire, on ne doit tenir compte des deux dernières résistances que comme ayant agi pendant

une demi-oscillation ; par conséquent, après les avoir estimées à part, pour quatre demi-oscillations, on en prendra les trois quarts que l'on retranchera de la somme totale des trois résistances. Pour estimer cette quantité, on a opéré de la même manière que précédemment, à cela près que les aiguilles n'entraînaient pas les curseurs.

Pour la bouche à feu montée en pendule, on a observé les amplitudes de quinze en quinze oscillations doubles, sur l'obusier de campagne de 15 centimètres, et l'on en a appliqué les résultats aux autres bouches à feu, en considérant que le poids de l'appareil, chargé de ces bouches à feu, varie peu et que l'étendue de la projection de l'appareil sur un plan normal à la direction du mouvement est la même pour toutes.

Le tableau suivant contient les résultats de ces diverses observations :

Tableau des décroissements des amplitudes d'oscillation de l'obusier de 15 centimètres monté en pendule, et du récepteur balistique, observés respectivement de quinze en quinze et de vingt-cinq en vingt-cinq oscillations doubles.

BOUCHE A FEU-PENDULE.						RÉCEPTEUR-PENDULE.					
Les aiguilles entraînent les curseurs.			Les aiguilles n'entraînent pas les curseurs.			Les aiguilles entraînent les curseurs.			Les aiguilles n'entraînent pas les curseurs.		
Nombre d'oscillations doubles.	Amplitudes.		Nombre d'oscillations doubles.	Amplitudes.		Nombre d'oscillations doubles.	Amplitudes.		Nombre d'oscillations doubles.	Amplitudes.	
	deg	min		deg	min		deg	min		deg	min
0	14	45,6	0	14	47,6	0	8	59,0	0	9	8,9
15	13	44,1	15	14	9,5	25	7	48,0	25	8	28,5
30	12	40,6	30	13	30,5	50	6	40,0	50	7	49,0
45	11	33,0	45	12	52,9	75	5	37,5	75	7	11,0
60	10	27,1	60	12	16,1	100	4	37,5	100	6	33,1
75	9	21,6	75	11	41,4	125	3	45,6	125	5	59,2
90	8	18,9	90	11	7,4	150	3	30,6	150	5	26,0
105	7	21,1	105	10	34,2						
120	6	27,1	120	10	2,3						
135	5	37,5	135	9	31,6						
150	4	53,6	150	9	2,3						
165	4	14,6	165	8	33,5						
180	3	41,6	180	8	5,6						
195	3	12,9	195	7	39,1						
210	2	47,6	210	7	13,4						
225	2	24,6	225	6	49,4						
240	2	3,6	240	6	26,3						
255	1	45,9	255	6	5,1						
270	1	30,5	"		"						
285	1	15,1	"		"						
300	1	1,1	0	1	27,6						
315	"	48,8	15	1	26,6						
330	"	37,8	30	1	25,6						
345	"	28,1	45	1	24,9						
360	"	21,6									

La différence entre deux amplitudes successives est le décroissement résultant de quinze oscillations doubles de l'obusier pendule. Le quinzième de cette différence est le décroissement moyen dû à une double oscillation d'une amplitude moyenne, égale à la demi-somme des deux amplitudes observées.

En opérant de cette manière pour toutes les observations, on a eu une relation entre les amplitudes et les décroissements dus à une oscillation double.

Au moyen de ces quantités, on a obtenu le décroissement correspondant à une demi-oscillation ascendante d'une amplitude donnée, pour le cas où les curseurs étaient entraînés sur l'arc divisé et pour celui où ils n'étaient pas entraînés.

Pour rendre les indications de ce tableau faciles à saisir et à appliquer, on a calculé la diminution d'effet qu'indiqueraient les diminutions angulaires observées. On les a exprimées en unités de vitesse de recul pour la bouche à feu, et en unités de vitesse initiale pour les projectiles supposés du poids uniforme de 6 kilogrammes. La diminution de vitesse pour tout autre projectile serait en raison inverse des poids, puisque l'effet sur le récepteur ne dépend que de la quantité de mouvement du projectile.

Tableau des diminutions angulaires produites par les résistances exercées contre la bouche à feu et contre le récepteur-pendule dans une demi-oscillation ascendante entraînant les curseurs sur l'arc en fer divisé, et des effets correspondants en unités de vitesse de la bouche à feu et du projectile.

AMPLITUDE de recul.		DIMINUTION POUR LA BOUCHE A FEU		DIMINUTION POUR LE RÉCEPTEUR	
		En unités angulaires.	En vitesse de recul	En unités angulaires.	En unités de vitesse de boulet de 12.
deg	min	min	k.m:s	min	m:s
0	20	0,58	2,7	0,40	0,48
0	40	0,70	3,3	0,44	0,52
1	0	0,82	3,8	0,50	0,59
2	0	1,10	5,1	0,69	0,82
3	0	1,34	6,3	0,93	1,10
4	0	1,65	7,7	1,25	1,48
5	0	1,98	9,3	1,46	1,75
6	0	2,24	10,4	1,54	1,84
7	0	2,42	11,4	1,60	1,92
8	0	2,58	12,2	1,63	1,96
9	0	2,73	12,8	1,65	2,00
10	0	2,80	13,6	1,66	2,02
11	0	2,78	13,2	1,73	2,10
12	0	2,76	13,2	"	"
13	0	2,65	12,8	"	"
14	0	2,61	12,6	"	"

Les quantités contenues dans ce tableau ne sont pas très-considérables; cependant elles ne sont pas entièrement négligeables pour les grands angles.

On peut objecter contre ce mode de correction, que la résistance de l'air n'est pas la même dans des oscillations continues et dans le mouvement qui provient du tir; mais cette résistance n'est qu'une faible partie des résistances totales; elle n'en est que le quart environ dans les plus grandes oscillations; elle n'est donc que le tiers de la résistance des curseurs, laquelle est évidemment la même quand

le pendule les entraîne par suite du mouvement dû à l'action subite de la poudre, ou par suite de sa vitesse acquise.

Dans les expériences au pendule balistique, le récepteur reçoit du choc des gaz de la poudre, une impulsion qui s'ajoute à celle que produit le projectile, la seule qu'il s'agit de mesurer; pour atténuer, autant que possible, le premier effet, on a placé, à 2 mètres de la face du récepteur, un écran solide en madriers, ayant la forme d'un carré de $1^m,20$ de côté, et une ouverture circulaire de $0^m,50$ de diamètre, son centre à hauteur de celui du récepteur.

Malgré cette précaution et quoique la tranche de la bouche fût éloignée de 9 à 10 mètres du récepteur, les gaz qui sortaient de l'âme le frappaient et lui communiquaient une certaine quantité de mouvement qui ne doit pas entrer dans les formules de la vitesse.

On ne saurait isoler cet effet, mais on peut le comparer à celui que produit une charge de poudre de même poids, dans le tir de la même pièce, sans projectile, comme dans le flambage des bouches à feu.

On a reconnu que les angles de recul du récepteur, observés dans le tir sans projectile, vont en croissant plus rapidement que le poids de la charge de poudre. Il y a entre les angles de recul du récepteur produits par une même charge dans l'une quelconque des bouches à feu, des différences dont la grandeur absolue est faible, et qui ne dépassent généralement pas celles qu'on observe entre des angles de recul obtenus avec des charges de même poids, et une même bouche à feu. Ces différences ne paraissant ainsi dépendre ni des calibres, ni des longueurs d'âme, il a été permis de ne faire d'autre distinction que celles du poids, et de prendre la moyenne sur les angles résultant des charges de même poids dans les diverses bouches à feu.

On a ensuite déterminé la vitesse que devrait avoir un projectile d'un poids donné pour que par son choc il pro-

duisit le même angle de recul. On a calculé ces vitesses pour un boulet de 6 kilogrammes. Ces relations sont contenues dans le tableau suivant :

Poids des charges (kilog.)........	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	10,0
Angles de recul (minutes)........	0,33	1,13	2,05	3,20	5,65	8,4	10,9	13,0	14,8	16,1	18,0
Vitesses d'un boulet de 6 kil (m : s).	0,4	1,4	2,4	3,8	6,7	10,0	12,9	15,4	17,5	19,2	2,4

La vitesse que devrait avoir un projectile d'un poids donné, pour que par son choc il produisît le même angle de recul, serait, d'après ce qu'on a déjà dit, proportionnelle à ces vitesses et en raison inverse du rapport du poids du boulet, de 6 kilogrammes, c'est-à-dire qu'avec des boulets de 4, 8, 12 kilogrammes, les vitesses seraient respectivement $\frac{3}{2}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$ des précédentes; elles seraient respectivement les $\frac{6}{7,7}$, $\frac{6}{11,2}$, $\frac{6}{23}$ pour des obus de $7^{\text{kil}},7$, de $11^{\text{kil}},2$ et de 23 kilogrammes.

En remarquant, comme on l'a déjà fait, que l'effet de l'explosion de la charge de poudre d'un poids donné sur le récepteur balistique, est indépendant de la longueur du calibre de la bouche à feu, et que c'est toujours la même masse de gaz lancée avec une vitesse qui dépend de la tension qu'ils produisent, on est conduit à penser que, dans le tir avec ou sans projectile, l'effet du gaz sur le récepteur est, à peu de chose près, le même. On tiendrait donc compte, au moins approximativement, de l'effet des gaz qui frappent le récepteur en même temps que le projectile, en retranchant les angles de recul observés dans le tir sans projectile, des angles observés dans les expériences du tir avec projectile, ou en retranchant les vitesses calculées ci-dessus des vitesses calculées d'après les angles observés.

En réunissant la correction positive, relative aux résistances diverses exercées sur le récepteur dans son mouvement d'ascension le long de l'arc, à la correction négative,

due à l'effet des gaz sur le récepteur, on a obtenu les corrections contenues dans les tableaux suivants. Comme elles sont de signes contraires, elles se compensent en partie, et la correction finale est positive aux petites charges, négative aux grandes charges et nulle pour une charge intermédiaire. Ces corrections ne sont pas sans importance aux très-grandes charges, car elles changent la grandeur de la charge qui produit le maximum de vitesse, en diminuant cette vitesse d'une quantité qui n'est pas moindre que 12 mètres avec le boulet de 8, 19 mètres avec celui de 12 et 23 mètres avec l'obus de 12 centimètres. Voici les tableaux de ces corrections :

Tableaux des corrections à apporter aux vitesses des projectiles, pour tenir compte des résistances qu'éprouve le pendule dans son mouvement de recul, et de l'effet du choc des gaz de la poudre.

RAPPORT du poids de la charge à celui du boulet.	CORRECTION AVEC LES CANONS DE			RAPPORT du poids de la charge à celui du boulet.	CORRECTION AVEC LES CANONS DE		
	24, de siége.	12, de camp.	12, de place.		8, de place.	16, de siége.	8, de camp.
	m:s	m:s	m:s		m:s	m:s	m:s
1/96	"	"	+ 0,5	1/128	+ 0,7	"	"
1/48	"	"	+ 0,7	1/64	+ 0,8	+ 0,6	+ 0,8
1/24	+ 0,7	+ 0,9	+ 0,9	1/32	+ 1,1	+ 0,8	+ 1,1
1/16	"	"	+ 1,0	1/16	+ 1,2	+ 0,9	+ 1,2
1/12	+ 0,5	+ 1,2	+ 1,1	1/8	+ 1,2	+ 0,4	+ 1,3
1/8	− 0,2	+ 0,5	+ 0,8	1/6	"	− 0,2	"
1/6	− 0,8	+ 0,4	+ 0,4	3/16	+ 1,0	− 0,3	+ 0,8
5/24	− 1,5	"	0,0	1/4	+ 0,4	− 1,3	+ 0,2
1/4	− 3,2	− 0,5	− 0,5	5/16	− 0,3	"	− 0,5
1/3	− 2,2	− 1,9	− 1,9	1/3	"	− 2,7	"
5/12	"	"	− 3,3	3/8	− 1,2	− 3,5	− 1,3
1/2	− 6,5	"	− 4,7	7/16	− 2,0	− 4,8	− 2,2
				1/2	− 3,0	− 6,0	− 3,3

Poids de la charge	Correction avec les canons de 12, de place, à boulet.	Correction avec les canons de 12, de place, obus de 4 kil.	Correction avec les canons de 8, de camp., à boulet.	Poids de la charge.	Correction avec les obusiers de 15 cent., obus de $7^{kil},7$.	Correction avec les obusiers de 16 cent., obus de $11^{kil},2$.	Correction avec les obusiers de 22 cent., obus de 23 kil.
kil	m:s	m:s	m:s	kil	m:s	m:s	m:s
2	"	"	— 3,3	0,125	0,0	"	"
3	"	"	— 7,5	0,150	+ 0,6	"	+ 0,4
4	— 8,0	— 12,2	— 12,5	0,500	+ 0,6	"	+ 0,4
5	— 10,9	— 16,7	"	0,750	+ 0,3	+ 0,5	"
6	— 13,4	— 20,3	"	1,000	— 0,1	"	+ 0,2
7	— 17,5	— 23,4	"	1,500	"	— 0,2	— 0,1
8	— 17,2	"	"	2,000	"	"	— 0,5
10	— 19,4	"	"				

NOTE SECONDE.

Tableau des expériences spéciales faites en 1842, avec le canon de 12, de place, à boulet roulant, pour reconnaître l'influence du diamètre de la gargousse sur les vitesses initiales.

Charges de poudre. Poids.	Charges de poudre. Diamètre.	Charges de poudre. Hauteur de la poudre.	Projectiles. Poids.	Projectiles. Diamètre.	Reculs du canon-pendule. Produit du poids par la vitesse de recul.		Vitesses initiales des projectiles	
kil	mm	mm	kil	mm	k.m:s	k.m:s	m:s	m:s
1,500	108	174	6,127	118,2	4211 4224 4228 4194 4238 4199	4215	484,1 490,0 491,8 479,3 481,8 491,7	486,5
1,500	112	161	6,129	118,2	4237 4186 4200 4250 4235 4209	4219	487,0 482,4 480,6 485,9 480,8 483,5	483,7
3,000	108	342	6,101	118,1	6252 6197 6244 6263 6218	6235	601,4 604,4 603,1 605,6 606,6	604,2
3,000	112	319	6,101	118,1	6156 6245 6279 6241 6115	6203	598,0 601,7 608,5 609,2 604,9	604,4

RAPPORT DU COMITÉ DE L'ARTILLERIE

SUR LE TIR EN BRÈCHE,

SUIVI D'UNE

INSTRUCTION APPROUVÉE PAR LE MINISTRE DE LA GUERRE.

Dès la fin du XIVe siècle, les bouches à feu furent employées pour détruire les remparts des villes. Tir en brèche avant Vauban.

A cette époque, les remparts n'étaient, le plus souvent, que de simples murs non terrassés; les boulets lancés par les bouches à feu étaient en pierre, et, pour en obtenir des effets suffisants, on leur donnait de très-gros calibres. De semblables projectiles, choquant des murailles isolées, les traversaient lorsqu'elles étaient d'une assez faible épaisseur, ou les ébranlaient fortement et faisaient souffler leurs parements à l'intérieur. Les Turcs suivaient déjà une certaine méthode pour former rapidement, dans la muraille attaquée, une ouverture qui donnât entrée aux assaillants. Ils tiraient trois coups, un sur chacun des sommets d'un triangle équilatéral, puis un quatrième coup dans l'espace déterminé par les trois premiers, de sorte que tout l'intérieur du triangle et les parties avoisinantes étaient détachés de la muraille.

Les boulets en pierre ne produisaient que peu d'effet contre des murs terrassés et d'une grande épaisseur; le plus souvent ils se brisaient sur la maçonnerie. Pour obvier à

cet inconvénient, on tirait vers le sommet de la muraille de manière à l'écrêter; les pierres n'étant, en cet endroit, ni maintenues ni soutenues par leur partie supérieure, étaient facilement brisées ou renversées par le choc. En agissant ainsi de proche en proche, on détruisait le rempart, pour ainsi dire pierre à pierre et par lits successifs, en allant du haut vers le bas, jusqu'à ce qu'on eût complétement formé la brèche.

L'emploi des boulets en fonte conduisit à un mode de tir en brèche plus sûr et plus expéditif. Dans ce tir, la partie de la muraille qui doit être abattue est découpée, suivant son contour, au moyen de tranchées verticales et horizontales; ainsi séparée, à coups de canon, du reste du revêtement et soumise à l'action de son propre poids et de la poussée des terres, la maçonnerie se renverse dans le fossé où elle est suivie par les terres qu'elle soutenait. Ce système de tranchées horizontales et verticales est encore en usage de nos jours.

Mais, quant aux règles à suivre dans l'exécution des tranchées ainsi que dans les opérations qu'il est nécessaire de faire, après la chute du revêtement, pour obtenir une brèche praticable, les anciens auteurs ne donnent que quelques indications fort vagues.

Méthode de Vauban.

Vauban, le premier, a posé des principes et donné des préceptes dont la réunion compose une méthode assez complète. Il recommande, « pour faire brèche avec le canon, » de toujours battre en sape et le plus bas qu'on peut, » mais jamais le haut, parce que cela attire des ruines au » pied, qui rompent l'effet du canon; mettre tous les coups » ensemble et tirer en salve (*). »

Dans un autre passage, il dit : « Les deuxièmes batteries » en ordre sont celles qui s'établissent sur le haut du che-

(*) *Traité des siéges et de l'attaque des places;* Paris, 1829, page 117.

» min couvert, devant les faces des bastions. Elles sont com-
» posées de six, sept à huit pièces chacune; leur usage est
» de battre en sape le pied des bastions, sur toute l'étendue
» des faces, pour y faire brèche. »

Vauban place en outre, le plus souvent, une batterie de trois ou quatre pièces sur le saillant du chemin couvert de l'ouvrage attaqué. Cette batterie, qu'il appelle *biaise*, a pour but de détruire le saillant de l'ouvrage en sapant obliquement ses deux faces.

Enfin, relativement à la manière de conduire le tir dans l'exécution des tranchées, il s'exprime ainsi : « Comme
» l'on embrasse les angles des demi-lunes des deux côtés,
» il faut aussi les battre des deux côtés de quatre ou cinq
» pièces de canon chacun, commençant les deux ensemble
» par la pointe en tirant vers les épaules, jusqu'à ce qu'on
» ait fait 12 ou 15 toises de brèche bien éboulée de part et
» d'autre de son angle flanqué; observant toujours de
» battre en sape à 2, 3, 4, 5 et 6 pieds près du pied des
» murs au plus, et de ne pas tirer un seul coup de ces
» batteries contre le haut, mais toujours contre le bas et
» en salve; ramasser tous les coups ensemble, et ne pas
» quitter les endroits auxquels on se sera attaché, qu'on
» ne voie tomber la terre du derrière du revêtement; cela
» marquera qu'il est entièrement coupé (*).

» Quand le revêtement sera tombé, si les contre-forts
» ne suivent pas, il les faudra battre aussi et y employer
» le canon des batteries biaises (**). »

Ces passages des ouvrages de Vauban font voir que sa méthode consistait :

A établir une coupure ou sape horizontale dans l'es-

(*) *Traité des siéges et de l'attaque des places*; Paris, 1829, page 142.

(**) Même ouvrage, page 144.

carpe à une hauteur, au-dessus du fond du fossé, qui variait de 1 à 2 mètres;

A conduire cette sape méthodiquement, en la commençant au saillant de l'ouvrage et en marchant peu à peu vers les épaules;

A concentrer tous les coups sur un même point auquel on devait s'attacher exclusivement pour ne passer à un autre que quand le revêtement était complétement percé;

A couper ainsi les deux faces d'un bastion, vers le pied et dans toute leur étendue, par une tranchée allant de l'un à l'autre des angles d'épaule.

Il faut remarquer que Vauban ne faisait pas de tranchées verticales. Mais, dans son système, elles étaient inutiles; le bastion coupé par le pied, dans toute l'épaisseur du revêtement, depuis le saillant jusqu'aux épaules, devait s'écrouler par son propre poids.

Vauban avait aussi reconnu l'efficacité du tir oblique, car il le conseille pour détruire les contre-forts restés debout après la chute du revêtement; et, de plus, il établit sur les saillants des chemins couverts des batteries biaises pour coopérer, avec les batteries directes, au renversement des bastions.

Méthodes suivies depuis Vauban jusqu'à l'époque actuelle.

Après Vauban, par suite de la réduction des moyens d'action employés dans les siéges, on restreignit la largeur des brèches, qui furent alors comprises entre les saillants et les angles d'épaule des ouvrages, et limitées sur les faces de ces ouvrages par des tranchées verticales.

Saint-Remy, Dupuget, Bousmard, indiquent les deux tranchées pratiquées aux extrémités de la brèche pour la limiter.

Saint-Remy ne parle pas de la largeur à donner à la brèche, mais il est à présumer qu'il la voulait très-large, car il dit d'abattre la face de l'ouvrage. « Il recommande,

» pour battre en brèche, de faire (*) trois batteries situées » en différents endroits, lesquelles ont cependant pour but » la même face de l'ouvrage, avec cette différence qu'il y » en a une qui la bat en droite ligne, et les deux autres » obliquement et en écharpant par les deux côtés de cette » face, ce qui fait que chaque coup porté de cette manière » détruit et fait tomber la masse de cet ouvrage. »

Saint-Remy emploie donc, comme Vauban, le tir oblique. Il indique que l'on faisait usage de pièces de canon de 33, et qu'on les tirait à la charge de vingt-deux livres ou des deux tiers du poids du boulet; puis, quand « elles » étaient échauffées pour avoir tiré, » à la charge de seize livres et demie de poudre ou de moitié du poids du boulet.

Dupuget, qui écrivait vers 1765, donne sur la largeur des brèches des indications plus précises (**). « Sans vou- » loir décider sur la largeur des brèches, il paraît que c'est » plus qu'il ne faut d'ouvrir un tiers des faces, ou environ » 16 toises aux bastions et 12 aux demi-lunes, à distance » égale à peu près de l'angle flanqué et de l'angle d'é- » paule. »

Quant à l'exécution de la brèche, il donne une méthode particulière. « D'abord on tracera de droite et de gauche » la masse à renverser, commençant à fleur d'eau ou à une » toise à peu près du fond quand le fossé est sec, conti- » nuant jusqu'au cordon successivement et ne quittant » aucun point que la terre ne paraisse. Cela fait, on sa- » pera le mur, en allant de même, pied à pied, de l'un des » tracés perpendiculaires à l'autre. Si le revêtement résiste » encore à la poussée des terres, quelques décharges de » toutes les pièces ensemble en auront bientôt déterminé » la chute totale. »

(*) Saint-Remy, *Mémoires d'artillerie*; Paris, 1745, tome III, page 171.
(**) Dupuget, *Essai sur l'usage de l'artillerie*; Amsterdam, 1771, page 201.

Bousmard, dans son *Essai général de fortification*, publié en 1797-1799, indique que (*) « les batteries de brèche » commenceront par dessiner, en quelque sorte, par leurs » boulets, sur le revêtement, la brèche qu'elles y veulent » faire, en y creusant trois fortes rainures, l'une horizon- » tale et aussi près du fond du fossé qu'il sera possible de » tirer, et les deux autres verticales et allant des extrémités » de la première au sommet du revêtement. Cela fait, elles » continueront à tirer dans ces trois rainures pour les ap- » profondir et détacher par là, du reste du revêtement, le » massif qu'elles veulent abattre. »

La méthode décrite par Gassendi dans son *Aide-Mémoire* est celle qui a été suivie dans les siéges durant les dernières guerres (**). » Pour faire brèche, coupez le revêtement vers » son pied, à une toise du fond du fossé s'il est sec, et à » fleur d'eau s'il ne l'est pas, par une ligne horizontale, » dans toute la longueur que doit avoir la brèche, et de dis- » tance en distance par des lignes verticales jusqu'au cor- » don; ébranlez ensuite, en tirant par salves, chaque por- » tion comprise entre deux coupures verticales, pour la » faire écrouler dans le fossé, en sapant toujours de bas » en haut. La brèche doit avoir un tiers de la longueur » de la face, à commencer de son milieu vers l'angle » flanqué. »

Méthode nouvelle.

L'examen des effets produits par les projectiles, lorsqu'ils pénètrent dans les maçonneries, et des circonstances qui accompagnent leur pénétration, a conduit M. Piobert à établir théoriquement une nouvelle méthode de formation des tranchées, méthode dont l'efficacité est aujourd'hui démontrée par de nombreuses expériences.

(*) Bousmard, *Essai général de fortification*; Paris, 1814, tome I, page 162.

(**) *Aide-Mémoire à l'usage des officiers d'artillerie*; Paris, 1819, tome II, page 1121.

Si l'on considère l'excavation produite dans la maçonnerie par un boulet animé d'une grande vitesse (*), « on » voit qu'elle se compose de deux parties : l'une est le vide » formé par le passage du boulet, et sa section a une sur- » face sensiblement égale au produit du diamètre de ce » boulet par l'enfoncement; l'autre est formée par l'éclate- » ment des parties du parement, voisines du point choqué, » et sa section est à peu près équivalente à la première. » Le boulet, dans son passage, déplace des parties de la maçonnerie qui, pour s'échapper, exercent sur les portions avoisinantes des pressions latérales dont l'effet se fait sentir à une assez grande distance tout autour du point frappé. « Cet effet de pression désunit les matériaux, les brise et » fait éclater les parements voisins; il contribue pour » beaucoup à l'évasement de l'excavation près de son en- » trée, qui a pour diamètre jusqu'à cinq fois celui du pro- » jectile. » En mesurant la section méridienne d'une excavation, on trouve que « sa superficie est d'environ 1/6 » et 1/5 de mètre carré, dans la maçonnerie de très-bonne » qualité, pour les calibres de 16 et de 24; de sorte qu'une » tranchée de 20 mètres de longueur, dans un revêtement » de 2^{m},40 d'épaisseur, ou de 48 mètres carrés de section, » n'exigerait que 288 ou 240 coups, si chacun d'eux pro- » duisait tout son effet. Ces nombres sont bien au-dessous » du tiers du plus petit nombre de coups que l'on tirait » ordinairement dans les siéges des dernières guerres pour » ouvrir une brèche de la même étendue. Le tir employé » alors était donc loin d'être le plus avantageux. »

La nouvelle méthode d'exécution des tranchées, fondée sur les considérations détaillées ci-dessus, a pour but de conduire l'opération plus rapidement, en disposant les coups

(*) G. Piobert, *Traité d'artillerie théorique et pratique*. Partie élémentaire et pratique, § 484.

de telle façon que chaque boulet produise le plus grand effet possible. Cette méthode consiste :

A tirer, le long de la tranchée horizontale, « des coups » isolés distants les uns des autres de cinq à huit diamètres » du boulet, afin que toute la portion de maçonnerie com- » prise entre deux excavations voisines soit ébranlée; puis » à tirer sur les milieux des intervalles de ces coups, et » ainsi successivement tant qu'on peut distinguer ces in- » tervalles. Diriger les coups toujours sur les parties les » plus saillantes qui offrent moins de résistance à la péné- » tration des boulets et dont les éclats, se détachant mieux, » obstruent moins la tranchée. Continuer de la même ma- » nière jusqu'à ce qu'on ait percé le revêtement en diffé- » rents points. Exécuter ensuite, suivant les mêmes règles, » les tranchées verticales en les commençant par leur ex- » trémité inférieure à partir de la tranchée horizontale; » mais en montant d'abord lentement, afin que les débris » provenant des parties supérieures ne masquent point le » bas de ces tranchées avant que le revêtement soit percé. »

Quant à la hauteur à laquelle il convient d'établir la tranchée horizontale, le raisonnement, ainsi que l'expérience, avait déjà appris qu'il fallait qu'elle fût prise égale au tiers de la hauteur totale de l'escarpe à partir du fond du fossé, afin que les débris qui s'amoncellent au pied du mur ne puissent pas obstruer cette tranchée.

Expériences faites à Metz, en 1834.

Les expériences exécutées à Metz, en 1834, par la Commission des principes du tir, sont venues les premières démontrer l'efficacité de cette méthode. Deux brèches furent ouvertes dans la branche gauche de l'ouvrage à cornes de l'ancienne citadelle, l'une avec quatre canons de 24, l'autre avec quatre canons de 16, tirant les uns et les autres à la charge de moitié du poids du boulet.

Le revêtement dans lequel les brèches ont été ouvertes était en bonne maçonnerie calcaire avec mortier hydrau-

lique; il était soutenu par des contre-forts espacés de 5 mètres d'axe en axe, ayant $1^m,65$ de largeur et $2^m,45$ de longueur. Ce revêtement avait $2^m,25$ d'épaisseur au niveau des tranchées horizontales.

Les résultats de ces expériences sont les suivants :

Les deux brèches avaient 22 mètres chacune de largeur;

La chute des revêtements a eu lieu après qu'on a eu employé :

Pour le calibre de 24, 195 boulets et $4^h\ 4'$;
Pour le calibre de 16, 270 boulets et $5^h\ 37'$.

Ce qui revient environ à 100 kilogrammes de fonte et 50 kilogrammes de poudre consommés, par mètre courant de revêtement abattu, pour chacun des deux calibres.

La durée de l'opération, pour les deux calibres, a été à peu près en raison inverse des poids, ce qui constitue un avantage assez important pour le calibre de 24.

Les contre-forts ont été abattus et les brèches ont été rendues praticables par 38 coups de 24 pour l'une, et par 26 coups de 16 pour l'autre.

Brèche faite en 1837, au siége de Constantine.

Au siége de Constantine, en 1837, l'artillerie commença à battre en brèche, à la distance de 550 mètres, dans une muraille composée de blocs équarris en calcaire dur présentant 60 à 65 centimètres de côté; puis, s'étant rapprochée à 150 mètres, elle termina la brèche et la rendit praticable. La batterie était armée de trois pièces de 24 et d'une pièce de 16, tirant à la charge du tiers du poids du boulet. Le mur n'était point terrassé, mais il était appuyé contre d'anciennes constructions romaines d'une très-grande dureté et d'une épaisseur supérieure à la limite des pénétrations des boulets.

L'exécution de cette brèche donna lieu à deux observations importantes. On reconnut que, dans les matériaux

d'une grande dureté, le calibre de 24 avait un avantage considérable sur celui de 16, et il resta démontré que, même pour agir contre une construction d'une très-grande résistance, la charge du tiers du poids du boulet est suffisante.

Brèche faite, en 1844, au simulacre de siége de Metz.

En 1844, une brèche de 16 mètres de largeur fut ouverte dans la face gauche de la demi-lune de Chambières, à Metz. La maçonnerie, de même nature que celle de l'ouvrage à cornes de la citadelle, était en moins bon état. Le revêtement est tombé après 142 coups de canon de 24, tirés à la charge de la moitié du poids du boulet. Les circonstances observées dans les premières expériences se sont reproduites ici, et l'on a pu en tirer les mêmes conclusions relativement à l'efficacité de la nouvelle méthode.

Expériences de Bapaume, en 1847.

En 1847, une Commission mixte d'officiers de l'artillerie et du génie fut instituée pour exécuter, dans les fortifications de la ville de Bapaume qui devaient être démolies, des expériences sur une grande échelle, à l'effet d'étudier de nouveau les principes de l'exécution des brèches.

Le résumé des questions à étudier est présenté, dans le Rapport de la Commission de Bapaume, ainsi qu'il suit (*) :

« 1°. Répéter, sur des matériaux autres que ceux qui » ont été employés dans les fortifications de Metz, l'essai » du nouveau mode de formation des tranchées de brèche, » dont l'efficacité n'était garantie que pour une nature dé- » terminée de matériaux ;

» 2°. Rechercher quelle est l'influence sur l'exécution » des brèches, des dimensions du profil de la fortification, » des voûtes, casemates et autres constructions reliées aux » escarpes ;

» 3°. Déterminer la limite de la hauteur à laquelle on

(*) *Expériences de Bapaume*; Paris, 185[illegible], page 31.

» peut encore ouvrir la tranchée horizontale avec chance
» d'obtenir une brèche praticable;

» 4°. Régler le nombre des tranchées verticales et dé-
» finir les cas où il peut être nécessaire de faire des tran-
» chées verticales intermédiaires;

» 5°. Constater de nouveaux faits sur l'efficacité des ca-
» libres de 24 et de 16;

» 6°. Essayer s'il est possible de faire brèche à la forti-
» fication permanente avec une batterie de 12, de cam-
» pagne;

» 7°. Comparer, pour les calibres de siége, les effets des
» charges de poudre égales à la moitié et au tiers des poids
» des boulets;

» 8°. Examiner quelle est l'influence de la distance de
» la batterie au rempart, sur l'exécution des brèches;

» 9°. Compléter les essais faits à Metz sur le tir oblique,
» et rechercher la limite d'obliquité où la brèche devient
» inexécutable par suite du ricochet des projectiles. »

Quinze batteries ont été établies et ont été successivement employées pour l'étude des questions que l'on s'était proposé de résoudre.

Toutes ces batteries, hormis une seule, ont été armées de quatre canons.

Deux batteries de canons de 24 ont été établies contre la face droite du bastion 6 (*), pour battre cette face directement, en tirant l'une à la charge de la moitié, l'autre à la charge du tiers du poids du boulet; et deux batteries de canons de 16 ont été dirigées dans les mêmes conditions contre la face gauche du même bastion 6; elles ont aussi tiré l'une au tiers, l'autre à la moitié du poids du boulet. Ces quatre batteries avaient pour objet de fournir des résultats sur l'efficacité relative des calibres

(*) *Voir* les planches du Rapport sur les expériences de Bapaume.

de 24 et de 16 et des charges de poudre égales à la moitié et au tiers du poids du boulet; et de vérifier, sur une nouvelle espèce de maçonnerie, les résultats obtenus dans les expériences de Metz.

Deux autres batteries de 16, tirant à la charge du tiers, également directes et placées aussi dans le couronnement du chemin couvert, furent consacrées à l'étude de l'influence de la hauteur des escarpes. L'une agissait contre la face gauche de la demi-lune 15, qui avait $7^m,40$ de hauteur d'escarpe; l'autre battait la face droite du bastion 5 dont l'escarpe avait une hauteur de $14^m,20$. Cette dernière batterie exécuta son tir pendant la nuit.

Une batterie de 24, tirant au tiers, fut dirigée contre la face gauche du bastion 1 pour faire brèche en ouvrant l'escarpe à moitié de sa hauteur.

Deux batteries furent construites et disposées pour étudier les effets du tir en brèche contre des revêtements adossés à des voûtes. L'une, armée de trois canons de 16, tirant au tiers, fut placée dans le fossé de la courtine 3-4, pour faire brèche dans le flanc gauche du bastion 3, qui renfermait deux casemates voûtées; l'autre, armée de quatre canons de 24 tirant au tiers, fut établie sur la crête du chemin couvert du bastion 2, pour battre, à 300 mètres de distance, le flanc droit du même bastion 3, qui présentait la même disposition que le flanc gauche.

Deux batteries armées de canons de 12, de campagne, furent destinées à la recherche des effets de ce calibre pour le tir en brèche. Les canons ont été tirés avec des cartouches à boulet, confectionnées comme pour le service de campagne. Deux brèches complètes furent faites par ces batteries; l'une à la branche droite de la contre-garde 17, l'autre à la face droite du bastion 1.

Enfin, quatre batteries furent consacrées à l'étude du tir oblique. Les deux premières, armées de canons de 16 et ti-

rant, l'une à la moitié, l'autre au tiers du poids du boulet, furent placées de manière à faire brèche aux courtines 5-6 et 6-7, sous l'angle de 25 degrés, et aux distances de 119 et 159 mètres. Les deux dernières batteries, armées de canons de 24 et tirant de même, l'une à la moitié, l'autre au tiers, furent disposées pour faire brèche à la courtine 1-2, à des distances de 260 et 226 mètres, sous des angles moindres que 25 degrés.

Les escarpes de Bapaume étaient construites en moellons bruts de calcaire tendre, recouverts d'un parement en briques de 50 centimètres d'épaisseur moyenne, destiné à préserver le moellon des effets de la gelée. Le cordon et les saillants étaient en pierre de taille; les terres étaient très-argileuses et se maintenaient verticales après la chute du revêtement.

Les résultats de ces expériences peuvent se résumer comme il suit :

Relativement aux charges du tiers et de la moitié, il a été reconnu que celle du tiers est préférable. Les brèches faites à la charge du tiers exigent, il est vrai, quelques boulets de plus, mais elles consomment notablement moins de poudre et fatiguent moins les pièces et les affûts.

En comparant les effets produits par les calibres de 24, de 16 et de 12, tirant à la même charge du tiers, on trouve qu'il a fallu, pour chaque mètre courant de revêtement abattu,

Pour le 24, 111k,9 de fonte et 10′ 18″;
Pour le 16, 105,6 de fonte et 12′ 24″;
Pour le 12, 122,9 de fonte et 13′ 36″.

Il faut donc à peu près le même poids de fonte, quel que soit le calibre employé; cependant, comme le 12 opérait sur des revêtements d'une beaucoup moins grande épaisseur, on doit admettre que le poids de fonte consommée avec

ce calibre sera quelque peu supérieur aux poids consommés avec le 24 et le 16. Quant au temps employé, il est d'autant plus court que le calibre est plus fort.

Le nombre de coups qu'il a fallu tirer après la chute du revêtement, pour détruire les restes de maçonnerie et les parties visibles des contre-forts, a été très-variable. On ne peut, à cet égard, tirer des expériences aucune conséquence certaine. Néanmoins, la Commission de Bapaume conclut que, « lorsque les contre-forts seront attaqués méthodi-» quement, ils seront détruits par un même poids de fonte, » quel que soit le calibre, et ce poids doit être d'environ » 600 kilogrammes. »

Dans les terres, on n'a tiré qu'avec des boulets, et, après un assez petit nombre de coups, toutes les brèches ont été rendues praticables; leurs talus étaient inclinés de 31 à 37 degrés. L'efficacité des boulets, pour faire écrouler les terres, est donc assez grande.

En considérant les brèches achevées et prêtes à donner passage aux colonnes d'assaut, on trouve qu'il a fallu par mètre courant de brèche :

Pour le 24, $184^{k},4$ de fonte et 16′40″;
Pour le 16, 160,8 de fonte et 18′48″;
Pour le 12, 169,8 de fonte et 17′42″.

La moyenne de ces poids de fonte est de $171^{kil},8$, et l'on voit que les poids employés par chaque calibre ne diffèrent de cette moyenne que par le poids d'un boulet au plus.

Quant à l'exécution des tranchées, la méthode suivie par la Commission de Metz, en 1834, a été employée, et son efficacité a été de nouveau démontrée. On a ici, comme à Metz, mesuré les excavations formées par les premiers boulets et relevé par abscisses et ordonnées la section horizontale après un certain nombre de coups. Les résultats obtenus à Metz ont été confirmés; cependant, les éclate-

ments de la maçonnerie étaient moins considérables et les diamètres extérieurs des entonnoirs étaient moins grands que dans les expériences de Metz.

On a généralement, dans les expériences de Bapaume, pratiqué deux tranchées verticales seulement, une à chaque extrémité de la brèche; et, presque toujours, le revêtement est tombé lorsque ces tranchées n'étaient achevées qu'à moitié de leur hauteur. Dans deux brèches, on a amorcé une tranchée verticale intermédiaire.

Les tranchées horizontales ont été, en général, peu profondes, eu égard à l'épaisseur des revêtements, mais les matériaux composant la maçonnerie offraient peu de résistance à l'écrasement. Cependant, pour quelques brèches, on est revenu dans ces tranchées, ce qui prouve qu'elles n'avaient pas toujours été suffisamment approfondies.

Deux expériences complètes sur l'exécution des brèches par le tir oblique ont été faites avec deux batteries de 16, tirant, l'une à la charge de la moitié du poids du boulet, à la distance de 119 mètres, sous un angle moyen de 25 degrés; l'autre, à la charge du tiers, à la distance de 159 mètres et sous le même angle moyen. Une brèche fut commencée dans la courtine 1-2 avec quatre canons de 24, tirant à la charge de la moitié, à la distance de 260 mètres, sous l'angle d'incidence moyen de 18 degrés environ. Après 5 coups tirés de chaque pièce, on a trouvé, en prenant les effets moyens, que les boulets avaient produit des excavations de $1^{m},85$ de longueur, 86 centimètres de largeur et 38 centimètres de profondeur. On continua de tirer, après ces cinq premières salves, dans la tranchée horizontale qui se trouvait complétement tracée; mais quelques boulets ayant frappé la partie inférieure de cette tranchée se sont relevés et sont allés tomber dans la campagne à de très-grandes distances, tout près de chemins fréquentés. Le tir devenant dangereux, l'expérience

ne fut pas continuée. La batterie n° 9, qui devait faire brèche à la même courtine 1-2, à la distance de 226 mètres et sous l'angle d'incidence moyen de 20 degrés, ne fut pas employée. Les mêmes motifs qui avaient fait suspendre l'exécution de l'expérience précédente firent renoncer à entreprendre cette brèche.

De ces expériences sur le tir oblique, il résulte qu'en « employant la charge de moitié du poids du boulet, le tir » oblique a un avantage marqué sur le tir direct, même à » une distance triple; et qu'en employant la charge du » tiers, il y a un léger avantage en faveur du tir direct. »

Le tir exécuté contre les flancs du bastion 3 a prouvé que les ouvrages voûtés ou casematés ne peuvent opposer une longue résistance à un calibre de siége, et sont assez promptement détruits.

Il a été reconnu, en outre, que :

« La hauteur la plus convenable à donner à la tranchée » horizontale est celle du tiers de la hauteur totale de l'escarpe; mais que, lorsque les circonstances l'exigeront, » on pourra placer cette tranchée à moitié hauteur du revêtement;

» L'ouverture des brèches peut facilement s'exécuter » pendant la nuit;

» Jusqu'à 300 mètres de distance, la précision du tir de » l'artillerie actuelle permet de suivre tous les détails de » l'exécution des brèches avec autant d'exactitude qu'aux » distances les plus rapprochées. »

Siége de Rome, en 1849.

Au siége de Rome, en 1849, on a ouvert quatre brèches qui ont été franchies par les colonnes d'assaut. Une autre brèche avait été exécutée dans le bastion 9, à la distance de plus de 400 mètres, mais l'assaut n'y a pas été donné; elle n'eût pas d'ailleurs été praticable, parce que la tranchée horizontale était trop élevée et qu'il n'y avait pas assez de terre pour recouvrir la maçonnerie écroulée.



Dans les quatre brèches praticables, la hauteur de la tranchée horizontale était moyennement égale au tiers de la hauteur d'escarpe. Les escarpes avaient environ 7 mètres depuis le cordon jusqu'au fond du fossé; il n'y avait nulle part de parapet en terre, mais un mur à hauteur d'appui s'élevait au-dessus du cordon. Ce mur a d'abord été démoli à coups de canon, afin de déloger les tirailleurs auxquels il servait d'abri.

Les murailles étaient construites en bonne maçonnerie de briques et ciment romain; elles avaient environ 2 mètres d'épaisseur au niveau de la tranchée horizontale.

La batterie qui a ouvert la brèche dans la face gauche du bastion 7, est la seule sur les opérations de laquelle on ait pu recueillir des renseignements exacts et détaillés. Cette batterie était armée de deux canons de 24 et de deux canons de 16; elle était établie à 62 mètres de la face à battre. Elle a tiré pendant dix-huit heures environ pour abattre le revêtement, à raison de 4 coups par heure, à la charge du tiers. Il a donc fallu à peu près dix-huit heures et 288 coups pour amener la chute du revêtement sur une largeur de 30 mètres environ.

On a ensuite tiré, pour faire ébouler les terres, 15 coups par pièce ou 60 coups à la charge du sixième du poids du boulet.

On a donc, en définitive, employé vingt et une à vingt-deux heures pour faire une brèche praticable de 30 mètres de largeur, en tirant seulement 4 coups par heure.

Comparaison de la méthode nouvelle avec les méthodes suivies antérieurement.

La méthode nouvelle diffère essentiellement des méthodes suivies antérieurement, par le mode d'exécution des tranchées à effectuer dans les murs de revêtement.

Pour reconnaître sa grande supériorité, il suffit de comparer les nombres de projectiles et les temps employés pour faire une brèche de même étendue, aux différentes époques, c'est-à-dire avec les divers systèmes de tir.



Saint Remy dit que, pour faire une brèche praticable à une face de bastion avec dix ou douze canons de 24, il faut quelquefois plus de douze ou quinze jours, et, avec vingt-quatre canons de 24, seulement cinq ou six jours; les munitions consommées sont, dans le premier cas, de 14400 boulets avec plus de 172800 livres de poudre; dans le second cas, de 9600 boulets avec plus de 115200 livres de poudre. Mais il faut observer que Saint-Remy parle d'une brèche ouverte sur toute l'étendue d'une face de bastion, et, par conséquent, ayant une longueur triple de celles que l'on fait aujourd'hui. En réduisant donc des deux tiers les consommations indiquées par Saint-Remy, on voit qu'il eût fallu, de son temps, pour faire une brèche comparable à celles qui ont été exécutées dans les expériences, c'est-à-dire de 20 mètres environ de largeur :

Avec quatre canons de 24, douze ou quinze jours et 4800 boulets avec 57600 kilogrammes de poudre;

Avec huit canons de 24, cinq ou six jours et 3200 boulets avec 38333 kilogrammes de poudre.

Gassendi, dans son *Aide-Mémoire*, dit que « quatre canons de 24 font brèche en quatre ou cinq jours, et la brèche est praticable trois jours après. » La consommation qui correspondrait à ce temps employé serait, à raison de 80 coups par pièce et par jour, de 2240 boulets et 13440 kilogrammes de poudre.

En examinant les résultats obtenus par la méthode nouvelle, on trouve que :

Dans les expériences de Metz, en 1834, il a fallu, pour ouvrir des brèches de 22 mètres de largeur, en tirant à moitié du poids du boulet,

Avec quatre canons de 24, 233 boulets et 4h 52';
Avec quatre canons de 16, 296 boulets et 6h 9'.

Les résultats des expériences de Bapaume font voir qu'il faudrait, pour faire une brèche praticable de 20 mètres de largeur, avec quatre canons tirant à la charge du tiers,

Avec le calibre de 24, 285 boulets et $5^h 30'$;
Avec le calibre de 16, 430 boulets et $6^h 00'$;
Avec le calibre de 12, 575 boulets et $6^h 30'$.

Ces résultats font suffisamment ressortir l'incontestable avantage de la méthode nouvelle.

Toutefois, il faut remarquer que les temps indiqués ci-dessus, pour l'exécution des brèches, sont relatifs à des tirs d'expérience, et l'on doit admettre que, devant l'ennemi, on emploierait un temps à peu près double.

La méthode nouvelle de faire brèche est donc, sous tous les rapports, bien supérieure à toutes celles qui avaient été employées antérieurement. Les nombreuses expériences, exécutées dans ces derniers temps, ont fourni des résultats et un ensemble de faits desquels on peut tirer des conséquences susceptibles d'être adoptées comme les vrais *principes du tir en brèche*. Ces principes peuvent se développer de la manière suivante : *Conséquences à tirer des expériences exécutées jusqu'à ce jour, ou principes du tir en brèche.*

Lorsque la maçonnerie des murailles dans lesquelles on doit faire brèche est de qualité ordinaire, on peut employer les canons de 24 ou de 16, ou même, en cas de nécessité, le canon de 12, de campagne. Pour chaque mètre courant de revêtement abattu, la consommation en fonte et en poudre est sensiblement la même avec les calibres de 24 et de 16, et un peu plus grande avec le calibre de 12; mais le temps employé est d'autant plus court que le calibre est plus fort. Contre des maçonneries d'une grande dureté, il faut employer exclusivement les deux gros calibres; et, lorsque les murailles sont construites en gros blocs ayant 60 à 80 centimètres de hauteur ou de largeur, le calibre de 24 est le seul efficace. *Calibres et charge*

La charge du tiers du poids du boulet produit, à très-peu près, les mêmes effets que celle de la moitié et a, sur cette dernière, l'avantage d'exiger une consommation moins grande de poudre, de fatiguer moins les pièces, les affûts et les plates-formes, et de dégrader avec moins de violence les embrasures; elle doit, en général, être adoptée. On pourra néanmoins employer la charge de moitié du poids du boulet dans les cas exceptionnels où les maçonneries auraient une résistance et une dureté extraordinaires.

Largeur de la brèche. Plus une brèche est large, plus elle est facile à attaquer, et plus aussi elle est difficile à défendre. La largeur de 20 mètres environ est généralement suffisante pour donner passage aux colonnes d'assaut. Lorsque l'on devra, après la prise de l'ouvrage attaqué, établir des batteries dans cet ouvrage, et pour cet objet y monter de l'artillerie, il faudra, afin de faciliter le transport des pièces, se réserver le moyen de pratiquer des rampes en travers sur la pente de la brèche; pour ce motif, la brèche devra, dans ce cas, avoir une largeur de 25 à 30 mètres. On donnera encore à la brèche une largeur plus grande que 20 mètres, lorsque la fortification aura un très-grand relief au-dessus du fond du fossé, parce que les terres formeront alors des talus latéraux qui, eu égard à leur hauteur, rétréciront notablement le passage.

Hauteur de la tranchee horizontale. La hauteur de la tranchée horizontale, au-dessus du fond du fossé, doit être assez grande pour que les débris de maçonnerie, qui s'amoncelleront au pied du mur, ne viennent pas masquer cette tranchée; elle doit aussi être assez petite pour que la masse des terres qui s'ébouleront suffise à former une rampe praticable, c'est-à-dire inclinée à moins de 45 degrés. La quantité des débris provenant des excavations augmente avec la profondeur de la tranchée ou avec l'épaisseur du revêtement, et cette épaisseur est elle-même d'autant plus grande que l'escarpe est plus élevée. On peut

voir qu'il suffit, pour satisfaire aux deux conditions énoncées ci-dessus, d'ouvrir la tranchée à une hauteur qui, étant comptée à partir du pied du mur, ne soit pas moindre que l'épaisseur du revêtement en ce point, ce qui aura généralement lieu si l'on prend cette hauteur égale au tiers de la hauteur totale de l'escarpe.

Lorsqu'on y sera contraint par des circonstances particulières, on pourra encore ouvrir la tranchée à moitié de la hauteur de l'escarpe, pourvu que cette escarpe soit surmontée d'un parapet dont les terres soient susceptibles de recouvrir les débris de maçonnerie. Jusqu'à cette limite, on réussira à faire une brèche praticable.

Méthode d'exécution de la tranchée horizontale.

Le nombre des pièces de la batterie étant donné et la longueur de la tranchée étant connue, on attribuera à chacune de ces pièces une égale portion de tranchée à exécuter. Chaque pièce, agissant dans sa portion de tranchée, tirera d'abord une première série de coups isolés, distants entre eux de cinq à huit diamètres de boulet et espacés aussi également que possible; elle tirera une seconde série de coups sur les milieux des intervalles des coups de la première série, et continuera ainsi son feu, en le dirigeant toujours sur les parties les plus saillantes, jusqu'à ce que le revêtement soit entièrement coupé.

Un indice qui fait connaître que l'on a traversé le revêtement, c'est l'écoulement des terres du rempart; mais cet indice fait assez souvent défaut. Alors, il faut saper la maçonnerie jusqu'à ce que la tranchée paraisse avoir une profondeur égale à sa hauteur au-dessus du pied du mur, ce qui indiquera, d'après ce qui a été dit, que la coupure est complète.

Quelquefois il pourra se faire que l'on parvienne plus vite à déblayer la tranchée en croisant le feu des pièces.

Dans le cas où la batterie serait armée de pièces de différents calibres, il faudra que les longueurs des portions de

tranchée que les pièces auront à effectuer soient proportionnelles à leurs calibres. On devra aussi placer les pièces du plus fort calibre aux ailes de la batterie; si, par exemple, la batterie est composée de deux pièces de 24 et de deux pièces de 16, les pièces de 16 seront placées au centre.

Il est important que la tranchée avance à peu près également sur toute sa longueur. On devra diriger le feu contre les parties qui seraient notablement en retard et toujours sur les points en saillie.

Tranchées verticales.

Généralement, deux tranchées verticales, ouvertes chacune à une des extrémités de la brèche, suffiront pour amener la chute du revêtement. Chacune de ces tranchées doit être commencée par le bas, en dirigeant le tir d'après les principes posés ci-dessus pour la tranchée horizontale; elle doit être conduite en montant d'abord lentement tant que la partie inférieure de la muraille n'est pas entièrement coupée, afin que les débris ne viennent pas obstruer cette partie avant qu'elle soit terminée complétement. Les pièces extrêmes sont seules convenablement placées pour commencer les tranchées verticales, car les pièces voisines, tirant obliquement et d'écharpe, produiraient trop de débris, ce que l'on doit éviter en commençant, ainsi qu'il vient d'être dit. Lorsque les tranchées verticales auront été ainsi formées sur une hauteur de 1 mètre environ, on les fera marcher plus rapidement en coupant le revêtement de mètre en mètre successivement, et l'on emploiera dans ces tranchées les pièces voisines des pièces extrêmes. Pendant que les deux pièces extrêmes commenceront les tranchées verticales, celles du centre continueront de tirer dans la tranchée horizontale pour l'approfondir.

On doit veiller avec soin à ce que les deux tranchées verticales avancent également.

Quand la batterie sera armée de plus de quatre pièces et quand la brèche aura de 25 à 30 mètres, on ouvrira une

troisième tranchée verticale dans le milieu de la brèche, en ayant soin de ne commencer cette tranchée intermédiaire qu'après les tranchées extrêmes, et de la faire avancer plus lentement.

Il est essentiel de remarquer que :

Remarque sur l'exécution des tranchées.

La bonne et prompte exécution des tranchées dépend de l'exactitude avec laquelle les principes établis ci-dessus sont observés. L'égal espacement et la régularité des premiers coups contribuent à répartir, aussi uniformément que possible, les effets de pénétration et de désagrégation sur toute l'étendue de la tranchée horizontale; le soin que l'on apporte à diriger les coups dans les intervalles formés par les coups précédents et toujours sur les parties saillantes, donne à chaque boulet la faculté de produire le plus grand effet dont il est capable.

La bonne exécution des tranchées, de la tranchée horizontale surtout, est une condition nécessaire et sans laquelle on ne peut réussir à faire une *bonne* brèche. Plus la tranchée horizontale est profonde, plus la chute du revêtement est certaine et complète. Il faut donc ne pas craindre de pousser cette tranchée aussi profondément que possible et ne pas regretter le temps qu'on y aura employé.

Chute du revêtement.

Dans la plupart des cas, lorsque les tranchées horizontales et verticales auront été complétement exécutées suivant la méthode indiquée, le revêtement s'écroulera. Si, néanmoins, il restait encore debout quoique entièrement découpé, il y aura lieu de penser, ou que la tranchée horizontale n'a pas été, contrairement à ce qu'on avait cru, suffisamment approfondie, ou que la muraille est retenue par une très-grande liaison avec les contre-forts.

On pourra alors essayer de revenir dans la tranchée horizontale. Mais il faut remarquer que cette tranchée, après avoir atteint une certaine profondeur, est généralement encombrée de débris, et que, en continuant de tirer, on ne

fait plus que piler ces débris au fond de l'excavation sans l'approfondir davantage.

Si quelques salves tirées dans la tranchée horizontale ne déterminent pas la chute de l'escarpe, on exécutera une tranchée verticale dans le milieu de la brèche avec les deux pièces du centre.

Tir dans les restes de maçonnerie et dans les contre-forts.

La chute du revêtement entraine la chute des terres, d'abord de celles qui reposent directement sur le mur, puis d'une plus ou moins grande masse de celles du rempart, suivant leur nature. On découvre alors les parties supérieures des contre-forts auxquels restent quelquefois attachées des portions de la face postérieure de la muraille.

Pour détruire les parties visibles des contre-forts, il faut les attaquer par leurs portions les plus basses et tout près du sommet de l'éboulement, en remontant les coups à mesure que les débris s'accumulent et que l'éboulement augmente, et en tirant à droite et à gauche sur chacun de ces contre-forts et toujours sur les points les plus saillants.

On débarrassera à coups de canon la brèche des blocs de maçonnerie qui pourraient obstruer la rampe et y former ressaut.

Tir dans les terres.

Quand les terres sont fortes, elles restent debout après la chute du revêtement et forment comme une nouvelle escarpe. Il faut, pour les faire ébouler, les attaquer par le bas en relevant successivement le tir à mesure que l'éboulement se produit.

Les obus, dont on a souvent recommandé l'emploi pour tirer dans les terres, ont l'inconvénient, lorsqu'on en fait usage à la distance habituelle d'une batterie de brèche, de se briser aux fortes charges contre ces terres, et, aux faibles charges, de renvoyer des éclats dans la batterie qui les a lancés. De plus, l'opération du remplacement des canons par des obusiers de 22 centimètres est beaucoup trop diffi-

cile et périlleuse. On doit donc tirer avec le canon et à boulet contre les terres.

Les excavations produites dans les terres par les projectiles sont proportionnelles aux forces vives dont les projectiles sont animés; il faut, pour cette raison, imprimer aux boulets de grandes vitesses initiales. La charge la plus convenable est celle qui aura servi jusque-là pour le tir; ce sera donc généralement la charge du tiers. Néanmoins, lorsqu'il sera nécessaire de ménager les munitions, on pourra réduire la charge au quart, au cinquième ou même au sixième du poids du boulet.

Les expériences sur le tir oblique contre les maçonneries, exécutées à Metz, en 1834, et répétées, en 1847, sur une plus grande échelle, à Bapaume où deux brèches complètes ont été entièrement achevées dans les conditions d'une grande obliquité, ont prouvé que ce genre de tir pouvait être employé avec succès pour renverser les murailles d'une place lorsqu'on est contraint à l'employer, ou seulement même lorsqu'on trouve un avantage de position à s'écarter du tir direct. Tir oblique

L'angle sous lequel on doit cesser de faire usage du tir oblique est de 25 à 30 degrés, suivant la plus ou moins grande dureté de la maçonnerie.

Les tranchées s'exécutent d'après les mêmes principes que dans le tir direct. Mais, lorsque la batterie sera assez oblique pour qu'on ait à craindre de perdre beaucoup des premiers boulets par le ricochet, il faudra modifier la méthode d'exécution de la tranchée horizontale.

Chaque pièce, dirigée sur l'extrémité de sa portion de tranchée la plus rapprochée de la batterie, tirera un premier boulet; toutes les pièces continueront ensuite à tirer (chacune dans sa portion de tranchée) sur les trous formés par ces premiers boulets, de manière à faire éclater le parement aussi longtemps que possible, puis toujours sur les

parties saillantes jusqu'à ce que les ouvertures, ainsi pratiquées dans la muraille, se rejoignent et ne forment plus qu'une seule coupure horizontale. Si la maçonnerie est très-dure, on dirigera, afin d'entamer plus sûrement le revêtement, toutes les pièces sur l'extrémité de la tranchée la plus rapprochée de la batterie, et l'on commencera le feu par la pièce extérieure dont le coup bat la muraille en ce point sous le plus grand angle. Les autres pièces, tirant dans le trou formé par le premier coup, l'agrandiront, et l'on continuera de tirer dans cette excavation de la manière qu'il vient d'être dit, jusqu'à ce qu'elle ait atteint toute la longueur et toute la profondeur qu'on veut donner à la tranchée horizontale.

Les tranchées verticales sont plus difficiles et plus longues à exécuter dans le tir oblique que dans le tir direct. En effet, ces tranchées se trouvant dans des plans verticaux perpendiculaires à la longueur du mur de revêtement, paraissent inclinées sur la verticale quand on les voit de la batterie, et d'autant plus inclinées que la batterie est plus oblique. En outre, la profondeur de maçonnerie à traverser pour arriver aux terres augmente évidemment avec l'obliquité du tir.

Le temps employé et le poids de fonte consommé par mètre courant de revêtement abattu, dans le tir oblique sous l'angle de 25 degrés, contre des maçonneries de qualité ordinaire, sont très-peu supérieurs à ce qu'ils sont dans les mêmes conditions lorsque le tir est direct.

Tir de nuit. Une expérience faite à Bapaume a prouvé que le tir en brèche peut, à la rigueur, être exécuté pendant la nuit. Tous les moyens connus pour repérer les directions et les hauteurs des coups seront mis en usage; ils exigeront seulement un plus grand soin et une plus grande attention. Pour les opérations qui suivent la chute du revêtement, on devra toujours attendre le jour. On ne doit employer le tir

de nuit pour faire brèche, qu'en cas d'urgence et lorsqu'on se trouve à une distance très-rapprochée.

Position des batteries de brèche.

La facilité avec laquelle deux brèches praticables ont été exécutées à Bapaume avec des batteries tirant très-obliquement et l'efficacité reconnue depuis longtemps du tir à grandes distances, surtout avec le calibre de 24, prouvent que l'on pourra profiter des cas favorables où une partie des murailles serait convenablement découverte de quelque point situé jusqu'à 300 mètres au moins de distance, dans toute l'étendue des attaques. On s'affranchira alors de la nécessité d'établir les batteries de brèche sur la crête des chemins couverts, c'est-à-dire dans une position indiquée d'avance et contre laquelle la défense a organisé tous les moyens qui lui restent.

Conclusion.

Les principes détaillés ci-dessus, fondés sur les résultats d'expériences nombreuses et faites avec soin, constituent dans leur ensemble une méthode au moyen de laquelle on exécutera toujours des brèches praticables dans toute circonstance et dans toute position. Pour en rendre l'application plus facile, on les a résumés sous forme de préceptes ou règles, dont la réunion compose une Instruction sur le tir en brèche.

INSTRUCTION SUR LE TIR EN BRÈCHE (*).

BOUCHES A FEU ET CHARGE A EMPLOYER.

Les bouches à feu à employer dans le tir en brèche sont les canons de 24 et de 16, qui font partie des équipages de

(*) Cette Instruction a été approuvée, le 25 mai 1851, par le Ministre de la Guerre.

siége, et même, en cas de nécessité, le canon de 12, de campagne.

La charge est celle du tiers du poids du boulet; néanmoins, dans le cas où la maçonnerie présenterait une dureté et une résistance extraordinaires, on pourra employer la charge de la moitié du poids du boulet avec les canons de 24 et de 16.

EXÉCUTION DES BRÈCHES.

ARTICLE 1er.

Déterminer, aussi exactement que possible, la largeur du fossé et celle du chemin couvert, la hauteur de l'escarpe et celle de la crête intérieure, l'épaisseur du parapet, la hauteur de la contrescarpe et celle de la crête du chemin couvert, en un mot toutes les données nécessaires pour construire le profil de la fortification. A l'aide de ce profil, fixer la hauteur de la tranchée horizontale à faire dans l'escarpe, de manière que les déblais puissent suffire aux remblais d'une rampe inclinée à 45 degrés au plus. Cette hauteur, comptée à partir du pied du mur, ne devra pas être inférieure au tiers de la hauteur totale de l'escarpe; et, en outre, pour éviter l'encombrement des débris, elle ne devra pas non plus être inférieure à l'épaisseur présumée du revêtement au niveau de la tranchée. Dans les cas où il ne serait pas possible de découvrir le mur assez bas pour le battre vers le tiers de sa hauteur, on pourra ouvrir la tranchée plus haut et même jusqu'à moitié de la hauteur de l'escarpe, pourvu que cette escarpe soit surmontée d'un parapet en terre.

ARTICLE 2.

Fixer la largeur de la brèche, autant que possible, à 20 mètres au moins. Pour les ouvrages d'une grande hau-

teur et pour ceux dans lesquels on devra monter de l'artillerie, il sera convenable d'augmenter cette largeur.

ARTICLE 3.

D'après le nombre de pièces dont on peut armer la batterie, déterminer le champ de tir de chacune de ces pièces ou la longueur de la partie de tranchée horizontale qu'elle doit exécuter. Diriger d'abord chaque pièce vers la droite ou vers la gauche de son champ de tir, puis successivement de la droite à la gauche ou de la gauche à la droite, en espaçant les coups d'un mètre environ pour le calibre de 16, de plus d'un mètre pour le 24 et de moins d'un mètre pour le 12, sur toute l'étendue du champ de tir. Ramener le tir en sens opposé, en dirigeant les pièces sur les milieux des intervalles des premiers coups. Continuer ensuite le feu des pièces, chacune dans son champ de tir, en les pointant sur les parties les plus saillantes.

ARTICLE 4.

Examiner souvent l'état de la tranchée, afin de la faire avancer à peu près également sur toute sa longueur, et diriger le tir contre les parties qui seraient notablement en retard.

ARTICLE 5.

Continuer de tirer sur la tranchée horizontale jusqu'à ce qu'on soit sûr d'avoir coupé le revêtement en différents points jusqu'aux terres, ce que la présence de ces terres indiquera assez souvent.

ARTICLE 6.

Les pièces du centre continuant d'approfondir la tranchée horizontale, ouvrir deux tranchées verticales aux extrémités de la brèche avec les pièces de droite et de gauche de la batterie. Pour former ces tranchées verticales, diriger d'abord les deux pièces extrêmes à 50 centimètres au-dessus du bord supérieur de la tranchée horizontale; puis, dans les intervalles compris entre ces premiers coups et la tranchée horizontale, continuer de tirer sur les parties saillantes jusqu'à ce qu'on ait atteint les terres. Une fois que chaque tranchée verticale est coupée sur cette première hauteur, remonter le tir de 1 mètre et couper cette seconde hauteur comme la première. A partir de ce moment, l'on peut employer à ce tir les pièces voisines des pièces extrêmes. Remonter ainsi successivement en coupant, de mètre en mètre, jusqu'à ce que le revêtement tombe.

ARTICLE 7.

Avoir grand soin que les tranchées verticales avancent également; dans le cas où l'une des deux serait en avance, ne pas craindre de ralentir sa marche.

ARTICLE 8.

Si, la tranchée horizontale et les tranchées verticales extrêmes étant bien exécutées conformément aux principes ci-dessus énoncés, le revêtement ne tombe pas, il sera nécessaire d'avoir recours à une tranchée verticale intermédiaire qui sera exécutée par les deux pièces du centre.

ARTICLE 9.

Dans le cas où la batterie serait armée de plus de quatre pièces et où la brèche aurait plus de 25 mètres de largeur, on pourra ouvrir une tranchée verticale intermédiaire, en ayant soin de ne la commencer qu'après les tranchées extrêmes et de la faire avancer plus lentement.

ARTICLE 10.

Après la chute de l'escarpe, tirer sur les parties visibles et les plus basses des contre-forts, en remontant graduellement le tir et pointant alternativement un peu sur la droite et un peu sur la gauche de chacun d'eux. Tirer sur les terres qui ne sont pas éboulées en commençant par la partie inférieure.

RÉSUMÉ

DES

PRINCIPAUX TRAVAUX

EXÉCUTÉS AU COMITÉ DE L'ARTILLERIE DEPUIS LE 1er DÉCEMBRE 1844 JUSQU'AU 1er JANVIER 1851.

Le Résumé inséré dans le n° VI du *Mémorial de l'Artillerie* a fait connaître les principales questions dont le Comité avait eu à s'occuper depuis la publication du n° V (15 novembre 1842) jusqu'au 1er décembre 1844. On va présenter l'analyse des travaux les plus importants exécutés depuis cette dernière époque jusqu'au 1er janvier 1851.

Pour ne pas étendre outre mesure ce compte rendu qui embrasse une période de sept années, on a dû omettre diverses questions relatives au personnel, à l'administration, à la tenue des troupes, questions traitées spécialement dans les rapports d'inspections générales. On a passé aussi sous silence une infinité d'inventions, qui cependant ont été chacune l'objet d'un avis motivé, émis par le Comité.

Les matières traitées dans ce Résumé sont :

I. — Règlements généraux et décisions relatives à l'instruction ;
II. — Munitions et artifices ;
III. — Bouches à feu et projectiles ;
IV. — Matériel. — Ponts. — Harnais ;
V. — Armes portatives ;
VI. — Tir des bouches à feu ;

VII. — Travaux de bâtiments et usines;

VIII. — Ouvrages envoyés au Comité, depuis 1845, par des officiers d'artillerie.

I. — RÈGLEMENTS GÉNÉRAUX ET DÉCISIONS RELATIVES A L'INSTRUCTION.

Commandements généraux d'artillerie. — Organisation du personnel.

Par ordonnance du 29 avril 1847, le service de l'artillerie avait été divisé en onze commandements, dont dix pour l'intérieur du territoire et un pour l'Algérie.

Les titulaires de ces commandements étaient pris parmi les généraux de brigade attachés spécialement au service de l'artillerie, et portaient le titre de : *Commandant de l'artillerie dans la division militaire, ou les divisions militaires* faisant partie de la circonscription.

Le titre de commandant d'école était supprimé, et les lieutenants-colonels adjoints aux commandants des écoles d'artillerie restaient attachés, en la même qualité d'adjoints, aux généraux de brigade commandants de l'artillerie dans les divisions militaires, et étaient chargés, sous l'autorité de ces officiers généraux, de remplir les fonctions de directeurs des écoles d'artillerie.

Les chefs-lieux des onze commandements généraux étaient Paris, Douai, Metz, Strasbourg, Besançon, Lyon, Marseille, Toulouse, Rennes, Bourges et Alger.

Un décret du Gouvernement provisoire, en date du 28 avril 1848, a réduit de vingt et un à dix-sept le nombre des divisions militaires, et de quatre-vingt-six à cinquante-cinq le nombre des subdivisions. Le Ministre de la Guerre a réduit aussi, par un arrêté du 5 mai 1848, les commandements des généraux de brigade d'artillerie à neuf, dont

huit dans l'intérieur et un en Algérie. Ces commandements sont circonscrits dans une seule division, et s'étendent sur les troupes d'artillerie, ainsi que sur les places, batteries de côte et établissements de l'arme, situés dans cette division. Les titulaires prennent la dénomination de *général de brigade commandant de l'artillerie dans* telle *division militaire*. Les commandements supprimés sont ceux de Marseille et de Bourges (*).

Le neuvième commandement, situé en Algérie, s'étend sur tout le personnel et le matériel d'artillerie compris dans les trois provinces d'Alger, d'Oran et de Constantine.

Le nombre des directions d'artillerie a été réduit, par l'arrêté du 5 mai 1848, de vingt-cinq à vingt-deux pour l'intérieur (y compris la Corse), et il a été maintenu à trois pour l'Algérie, ce qui fait en tout vingt-cinq directions d'artillerie, tant en France qu'en Afrique. Les trois directions supprimées sont celles de Lille, Valenciennes et le Havre (**).

Depuis 1848, le Comité s'est occupé, à plusieurs reprises, des modifications que l'organisation du personnel de l'artillerie pourrait recevoir afin d'améliorer le service et de réduire les dépenses. Bien pénétré de la gravité du sujet, le Comité a consacré un grand nombre de séances à ce travail. Un Rapport fort étendu a été remis au Ministre, à la date du 4 janvier 1850, sous ce titre : *Présentation d'un projet d'organisation des cadres du corps de l'artillerie*

(*) Le décret du 26 décembre 1851 ayant reporté à vingt et un le nombre des divisions militaires, un décret du 15 janvier 1852 a de nouveau fixé à onze le nombre des commandements généraux d'artillerie (dix pour l'intérieur et un pour l'Algérie). Les chefs-lieux sont Paris, Douai, la Fère, Metz, Strasbourg, Besançon, Lyon, Toulouse, Rennes, Bourges et Alger.

(**) Le décret du 15 janvier 1852 a rétabli la direction du Havre; le nombre des directions d'artillerie est ainsi fixé à vingt-six, dont vingt-deux pour l'intérieur, une pour la Corse et trois pour l'Algérie.



(état-major particulier, régiments, pontonniers, ouvriers, armuriers, train des parcs), *et tableaux de répartition des officiers et employés du cadre de l'état-major particulier dans les établissements et les places.*

Nouvelle répartition des travaux et de l'emploi du temps des élèves de l'École d'application de l'artillerie et du génie.

Cette nouvelle répartition a été motivée par la décision ministérielle du 27 août 1848, qui a prescrit qu'à l'avenir, 1° les promotions sortant de l'École Polytechnique arriveraient à Metz le 1er novembre au lieu du 1er janvier fixé, depuis 1837, pour époque du commencement des études; 2° que les examens de sortie commenceraient le 1er octobre de chaque année.

Il a fallu remanier en entier le tableau de la répartition des travaux de l'École, ce qui a été le sujet de plusieurs délibérations, soit du Conseil d'instruction, soit des Comités de l'artillerie et des fortifications; leurs avis ont été conciliés par les dispositions suivantes approuvées par le Ministre, à la date du 22 février 1849 :

1°. Une suspension d'un mois aura lieu entre les deux années d'étude dans les cours et travaux de l'École d'application;

2°. Le mois d'interruption sera consacré par les élèves à se mettre au courant de leurs travaux arriérés et à recommencer ceux qui auraient été jugés inadmissibles;

3°. Le commandant de l'École est autorisé, sur la demande des familles, à accorder des congés, pendant le mois de suspension des cours, aux élèves qui seront au courant de leurs travaux et dont la conduite aura toujours été régulière;

4°. Les élèves qui resteront à Metz, soit volontairement, soit parce que des congés leur auraient été refusés, seront

soumis à toutes les prescriptions des règlements de l'École, et il leur sera fourni tous les moyens d'instruction dont on pourra disposer.

Un tableau de l'emploi du temps a été approuvé le 17 juin 1849.

École de pyrotechnie. — Modifications apportées aux cours de cette École et à l'emploi du temps des élèves, ainsi qu'au mode de leur avancement.

Créée par une ordonnance du 19 mai 1824, l'École centrale de pyrotechnie militaire a été organisée par un règlement du 18 septembre de la même année, qui ne contenait pas de disposition spéciale concernant l'avancement des militaires détachés des corps en qualité d'élèves.

Une décision ministérielle du 19 mars 1825 combla cette lacune.

En 1846, des inconvénients résultant de l'application de cette décision furent signalés au Ministre de la Guerre. Le Comité, appelé à les apprécier, soumit, le 8 juin 1847, à l'approbation ministérielle, certaines mesures qui étendaient l'instruction régimentaire des élèves, de manière à les mettre en état de remplir, à leur retour au corps, toutes les fonctions d'un nouveau grade, et à leur conserver ainsi toutes les chances d'avancement.

Ces mesures, proposées comme provisoires, avaient principalement pour objet de restreindre les cours accessoires, en augmentant l'instruction militaire ; de ne plus envoyer à l'École que des sujets pourvus au moins du grade de brigadier, et de régler le mode d'avancement.

Le projet qui existait alors, de transférer à Vincennes l'École de pyrotechnie, et d'en modifier l'organisation, fit ajourner l'adoption de ces propositions. Toutefois le Comité, voyant le projet de translation abandonné et le

maintien à Metz de la batterie de fuséens, a appelé l'attention du Ministre sur ce sujet, par un Rapport du 12 décembre 1848.

Les nouvelles dispositions concernant le régime de l'École ont été approuvées par un arrêté ministériel du 10 février 1849; elles ont été mises immédiatement en vigueur, pour être suivies à titre de *provisoires* pendant deux ans. D'après le compte qui sera rendu de leur application, les inspecteurs généraux proposeront de les améliorer et compléter, s'il y a lieu, ou de les rendre *définitives*.

Règlement concernant les soins et précautions à prendre pour la conservation des poudres et munitions dans les magasins.

Deux instructions ministérielles, des 19 mars et 1er octobre 1848, ont déterminé toutes les règles à suivre pour la construction et la réception des magasins à poudre. Il restait à établir un règlement sur l'emmagasinement et la conservation des poudres et munitions de guerre. Les dispositions existant sur cet objet se trouvaient disséminées dans un grand nombre de textes officiels; beaucoup étaient tombées en désuétude, ou ne pouvaient plus être appliquées. Il importait de réunir les prescriptions à maintenir, en les coordonnant et en proposant d'y ajouter de nouvelles dispositions, pour les cas qui n'avaient pas été prévus. Un projet de règlement (*) fut rédigé par le Comité, qui proposa de l'envoyer dans les établissements, afin de recueillir toutes les observations auxquelles il pourrait donner lieu. Cette mesure fut mise à exécution à la fin de 1849.

Les directeurs d'artillerie se sont accordés à reconnaître

(*) Le règlement du 27 ventôse an VII sur l'épreuve, la réception, l'embarillage, l'emmaganisement et le transport des poudres, a été pris pour base du nouveau travail. Toutes celles de ses dispositions qui sont encore applicables ont été conservées.

l'utilité de ce projet de règlement. Quelques observations de détail ont été présentées, mais elles ne portent généralement que sur des points accessoires. Les rectifications légères qui en sont résultées ont paru suffisantes pour que l'adoption du règlement ne fût plus ajournée. En conséquence, après révision par le Comité, il a été rendu définitif par une décision ministérielle en date du 13 décembre 1850. Comme plusieurs des mesures qui y sont prescrites intéressent les divers corps de l'armée et les officiers de l'état-major des places, ce règlement a été inséré au *Journal militaire* (2e semestre, page 455).

Armement des places.

Le n° V du *Mémorial* a mentionné l'ordre donné au Comité, par une dépêche ministérielle du 11 février 1841, de revoir et de compléter le travail de la Commission mixte de 1823, sur l'armement des places, et de présenter des projets complets pour les places de nouvelle création.

Pour l'exécution de cet ordre, les colonels directeurs d'artillerie furent invités à faire établir, pour toutes les places de leurs directions, des projets d'armement, et à les soumettre aux inspecteurs généraux, qui devaient les vérifier et les rectifier sur les lieux.

Par suite de ces mesures, des projets d'armement furent présentés par le Comité, le 17 juillet 1845, au Ministre, qui prescrivit : 1° de compléter ces projets par la détermination d'un armement de sûreté, par la rédaction des états d'approvisionnements, et par la présentation des états d'armement des places de France qui n'avaient pas été comprises dans le premier travail ; 2° de préparer des instructions pour l'armement des places et des côtes de l'Algérie. A cet effet, une Commission fut instituée sous le titre de *Commission spéciale d'armement et d'approvisionnement des places.*

Cette Commission, après avoir étudié tous les documents mis à sa disposition, reconnut d'abord la nécessité d'assurer l'uniformité des travaux qu'elle était chargée de centraliser, en exposant les principes généraux qui devaient servir de base aux évaluations, et en traçant la marche à suivre pour la rédaction des états, plans et mémoires sur la défense. Elle présenta, en conséquence, en octobre 1845 :

Des observations sur le classement des places de guerre et sur la force de leurs garnisons;

Le tableau des bases à adopter provisoirement pour l'approvisionnement de toutes les places;

Des modèles d'état pour les bouches à feu et les approvisionnements;

Des notes sur la rédaction des mémoires et sur la confection des plans;

Des projets d'instructions sur l'armement des places et des côtes de l'Algérie;

Enfin, quelques extraits du travail de la Commission mixte de 1823, qui faisaient connaître, en partie, les principes suivis par cette Commission.

Ces instructions et modèles furent approuvés par le Ministre, qui en autorisa l'impression et prescrivit de les transmettre aux colonels directeurs d'artillerie.

Une circulaire, datée du 16 avril 1846, enjoignit à ces officiers supérieurs de déterminer eux-mêmes, sur les lieux, l'armement de sûreté de chaque place, et de présenter les modifications motivées qu'ils jugeraient devoir être faites à la forme des états; on recommandait de joindre à l'état des bouches à feu, revu sur place, la copie des plans manquant aux archives de l'artillerie. Chaque directeur recevait, en outre, pour lui servir de modèle, l'état des bouches à feu devant composer l'armement d'une place.

Les mêmes dispositions furent adoptées à l'égard de la



Corse, qui n'avait point été comprise dans le travail de la Commission mixte de 1823, et à l'égard de l'Algérie. En même temps, pour prévenir les difficultés auxquelles pouvait donner lieu le texte mal interprété de l'ancienne législation militaire, une ordonnance décida que les plans des places fortes seraient librement communiqués par le génie aux officiers d'artillerie.

Les états des bouches à feu affectées à l'armement, ayant été transmis par les directeurs, en juillet et août 1846, furent examinés de nouveau par la *Commission spéciale d'armement*, et vérifiés sur les plans, de manière à établir une concordance aussi parfaite que possible entre les dessins et les textes. Ces états, approuvés définitivement par le Ministre, le 30 juin 1847, furent expédiés aux directeurs, qui reçurent l'ordre de se conformer, au besoin, à leurs indications.

La même vérification eut lieu pour les états d'armement de l'Algérie, mais seulement en ce qui concerne les places et postes de l'intérieur, la partie relative au littoral ayant été renvoyée à l'examen de la Commission mixte, formée en 1841, pour l'armement des côtes. La première partie fut approuvée par le Ministre, le 1er octobre 1847; la deuxième, après avoir été revue par la Commission mixte, a été approuvée le 10 avril 1848.

Les états d'approvisionnements de cent trente places de la France (Paris non compris) et des îles adjacentes, avaient été transmis au Comité en 1846 et 1847. La vérification en fut faite, en prenant pour règle le tableau des bases qui venaient d'être définitivement adoptées, par décision du 30 septembre 1847.

Chaque place donna lieu à un Rapport particulier. Les états d'approvisionnements pour les places et postes intérieurs de l'Algérie subirent la même vérification. Ces divers états d'approvisionnements furent approuvés par le Ministre,

le 28 juillet 1849, et renvoyés dans les directions, pour être pris pour règle, selon les besoins.

Indépendamment des états d'approvisionnements complets, on a établi, pour chaque direction de la France et de l'Algérie, un état partiel comprenant seulement les principaux objets nécessaires à chaque place, et qui pourrait tenir lieu, en plusieurs circonstances, des états complets.

L'armement de Paris, préparé par une autre Commission spéciale que présidait M. le général baron Gourgaud, avait été définitivement arrêté le 20 juin 1845 (*), après révision par une Commission supérieure, composée de tous les présidents des Comités d'armes, sous la présidence de M. le maréchal comte Valée. Ce projet a été reproduit dans le travail général de l'armement et de l'approvisionnement des places de la France et de l'Algérie; travail qui comprend cinq atlas et huit volumes in-folio d'états de bouches à feu et d'états d'approvisionnements. Plusieurs autres volumes, en cours d'exécution, contiendront les mémoires sur la défense des places.

Armement des côtes.

On a fait connaître, dans le n° V du *Mémorial* (page 64), qu'une Commission d'officiers d'artillerie, du génie et de la marine avait été formée, sous la présidence de M. le général de division vicomte de La Hitte, pour établir un projet d'armement des côtes de la France, de la Corse et des îles. — Cette Commission mixte a présenté un travail qui embrasse aussi la défense des côtes de l'Algérie, et qui, après avoir été soumis aux Comités de l'artillerie et des fortifications, et à une Commission de révision, a été approuvé par le Ministre de la Guerre, le 12 juillet 1847.

(*) C'est la date de la loi qui a affecté un crédit de 14130000 francs à l'armement de Paris.

Le volume qui contient l'exposé des principes et de la marche suivis par la Commission mixte, pour la rédaction de son projet d'armement des côtes, a été imprimé en 1848. Huit volumes, renfermant la description de tout le littoral, l'objet de chaque batterie et de chaque ouvrage demandés par la Commission mixte, sont restés manuscrits. On a réuni dans huit atlas les cartes hydrographiques, sur lesquelles sont indiqués les emplacements des ouvrages défensifs, avec une légende faisant connaître l'armement adopté. Quatre feuilles de dessin représentent le tracé et les détails de construction des nouvelles batteries de côte, de leurs réduits, des corps de garde défensifs, des postes garde-côtes, etc.

Gardiens de batteries de côte.

Un projet de règlement, adopté en principe le 17 juin 1849, attribue aux gardiens des batteries de côte des fonctions analogues à celles que remplissent les gardes d'artillerie dans les places, et arrête que ces gardiens seront recrutés parmi les sous-officiers d'artillerie, et auront le rang de sergent-major.

Aujourd'hui, en effet, que les batteries de côte sont ou vont devenir successivement de véritables ouvrages de fortification, dotés d'un matériel permanent, il est nécessaire que la garde de ces ouvrages et la surveillance de leur matériel soient confiées à des agents d'une classe plus élevée que celle à laquelle les gardiens de batterie avaient appartenu jusqu'à ce jour. Comme il serait d'ailleurs fort onéreux pour l'État d'entretenir, dans chaque batterie, deux agents, l'un pour le service de l'artillerie, l'autre pour le service du génie, le projet de règlement attribue aux gardiens des batteries de côte la double fonction de garde du matériel et de gardien des bâtiments et terrains.

Ce nouveau règlement confie aux mêmes agents le commandement militaire des détachements affectés au service des batteries de côte, lorsque ces détachements ne sont pas sous les ordres d'un officier ou d'un sous-officier d'un grade plus élevé ou plus ancien de grade. Comme généralement la composition des troupes auxiliaires, préposées à la défense du littoral maritime, ne présente ni officiers, ni adjudants, ni sergents-majors, il en résulte que, dans le plus grand nombre de cas, le gardien de batterie demeurera investi du commandement.

Répertoire général des ordonnances, circulaires, décisions, etc., concernant l'artillerie.

On a souvent reconnu l'utilité que pourrait présenter un répertoire méthodique et complet de cette multitude d'ordonnances, circulaires, décisions et autres documents qui concernent le service de l'artillerie et qui se trouvent épars non-seulement dans le *Journal militaire*, depuis sa création en 1790, mais encore dans les archives particulières des divers établissements.

Ce répertoire ferait cesser toute incertitude sur les dispositions qui sont encore en vigueur et sur celles qui se trouvent abrogées; il fournirait aux officiers et employés les renseignements nécessaires sur les règles qu'ils doivent suivre dans toutes les circonstances du service, et rendrait plus rares les contraventions à des décisions dont ils ignorent l'existence ou qu'ils ne savent où trouver.

Pour atteindre ce but et sur l'avis du Comité, le Ministre a prescrit le 4 février 1849, à chaque établissement d'artillerie, de dresser, conformément à un modèle donné, le relevé de toutes les dispositions réglementaires intéressant spécialement l'artillerie et qui se trouvent dans ses archives.

Ces relevés ont été coordonnés et réunis en répertoire, par une Commission spéciale qui les a complétés, en consultant les archives du Dépôt central et celles du Ministère de la Guerre.

Modifications du règlement du 15 *juillet* 1835 *sur l'instruction à pied et à cheval.*

Le texte de l'école du canonnier à pied et à cheval, du règlement provisoire du 15 juillet 1835, a subi divers changements, les uns (30 novembre 1845), par suite de l'emploi des armes à percussion et de la baïonnette; les autres (13 février 1848), par suite de l'adoption du mousqueton à tige et du sabre-baïonnette, dans les corps de l'artillerie.

Nouveau règlement sur les manœuvres d'artillerie.

En 1846, une Commission spéciale, présidée par un officier général, membre du Comité, et composée d'officiers du Dépôt central et de l'École de Vincennes, a été chargée de la révision des différents règlements et instructions sur les manœuvres d'artillerie. Le projet de règlement présenté par cette Commission est le fruit d'une année d'études et d'essais multipliés; il a été approuvé par décision ministérielle du 27 octobre 1847, mais à titre provisoire, jusqu'à ce que l'expérience ait fait connaître les modifications dont il pourrait être encore susceptible.

On s'est occupé, en outre, de la rédaction d'un appendice à ce règlement, relatif aux manœuvres des bouches à feu de côte, à la détermination des tables de tir du canon de 30 et de l'obusier de côte de 22 centimètres, et à l'emploi du mortier à plaque, de 32 centimètres, en fonte de fer.

Nouvelles manœuvres de force proposées par le maréchal des logis Ducol.

Le maréchal des logis Ducol, du 2e régiment d'artillerie,



a proposé, en 1849, une exécution nouvelle de quelques manœuvres de force de campagne et de siége. Une Commission spéciale, formée à l'École de Metz, a été chargée d'examiner ces propositions, et y a reconnu des dispositions ingénieuses, des indications propres à montrer comment on peut quelquefois suppléer aux moyens prescrits par les règlements.

Sur la proposition du Comité, le Ministre a accordé une gratification au maréchal des logis Ducol, qui a fait preuve de zèle et d'intelligence; il a en outre fait adresser à toutes les écoles d'artillerie des copies de la rédaction des nouvelles manœuvres proposées par ce sous-officier, ainsi que du Rapport de la Commission qui en a fait l'essai à Metz.

Modifications au règlement du 29 mai 1835, en ce qui concerne l'instruction relative aux ponts de chevalets.

Par suite d'une omission, le règlement du 29 mai 1835, annexé à l'ordonnance du même jour, sur le service et l'instruction des troupes d'artillerie dans les Écoles, ne prescrivait pas de manœuvres de ponts de *chevalets* aux régiments et aux compagnies d'ouvriers.

Le Ministre invita le Comité, en juin 1845, à lui proposer les modifications qu'il conviendrait d'introduire à cet effet, dans les instructions à adresser aux écoles d'artillerie.

En conséquence, les états A, B et D annexés à l'ordonnance du 29 mai 1835, ont reçu quelques additions, et l'art. 72 du règlement a été modifié de manière à rendre obligatoire et régulière, dans les régiments d'artillerie et les compagnies d'ouvriers, la manœuvre de ponts de chevalets.

Règlement portant organisation des pelotons d'instruction dans les régiments d'artillerie.

Les différents corps de l'armée ont reconnu depuis long-

temps combien il importait de former de bonne heure des sujets propres à combler successivement les vides que les libérations annuelles du service actif laissent dans les cadres. Ce besoin se faisait sentir plus vivement dans l'artillerie que dans les autres armes : la variété des instructions que son service comporte, le peu de temps que les hommes passent sous les drapeaux comparé à celui qui est nécessaire pour former un canonnier, et, à plus forte raison, un brigadier et un sous-officier, les nombreuses mutations qui surviennent dans les cadres, dès que l'on forme des batteries sur le pied de guerre, la nécessité de prendre des hommes gradés parmi des canonniers dont l'instruction est différente, suivant leur position d'homme monté ou d'homme non monté ; toutes ces causes imposaient l'obligation d'accélérer, autant que possible et sans nuire au service journalier, l'instruction pratique et théorique des sujets reconnus capables de former un jour des brigadiers et des maréchaux des logis.

L'attention du Ministre fut appelée, en 1845, sur cette question importante; un projet d'organisation des pelotons d'instruction fut préparé et approuvé le 23 juin de la même année. Une circulaire ministérielle du 28 du même mois en prescrivit l'exécution dans les quatorze régiments d'artillerie, avec ordre de rendre compte, en 1846, des résultats obtenus. Les premiers comptes rendus furent insuffisants. Le Comité proposa, le 1er juin 1847, de continuer les essais et d'inviter les colonels des régiments à fournir, dans l'année, un Rapport embrassant la période de deux ans (du 1er octobre 1845 au 1er octobre 1847).

Ces dispositions furent notifiées dans l'instruction complémentaire du 16 juillet 1847, pour les revues d'inspection générale de l'artillerie.

Les observations, contenues dans les Rapports des régiments, ont donné lieu à des modifications au projet de rè-

glement de 1845; d'autres améliorations y ont été introduites, et l'ensemble des dispositions qui en résulte est devenu obligatoire, par décision du 30 octobre 1848, sous le titre de *Règlement portant organisation des pelotons d'instruction dans les régiments d'artillerie.*

Le projet primitif avait déjà donné de bons résultats. On a donc lieu d'espérer que, bien appliqué, le nouveau règlement suffira pour procurer aux régiments le nombre de sujets instruits nécessaires à l'entretien de leurs cadres, et qu'en régularisant l'instruction des candidats à l'avancement, soit qu'ils proviennent de la catégorie des hommes montés, soit qu'ils sortent de celle des hommes non montés, il contribuera puissamment à faire disparaître une des principales difficultés de l'organisation actuelle des troupes d'artillerie.

Formation des pointeurs dans les régiments d'artillerie.

Le règlement du 29 mai 1835, sur le service et l'instruction dans les écoles d'artillerie, était le seul contenant quelques dispositions relatives à l'instruction sur le pointage des bouches à feu (art. 56 et 68). Depuis longtemps ces dispositions ayant été reconnues insuffisantes, le Comité s'est occupé de combler cette lacune.

En 1847, les inspecteurs généraux furent chargés de rechercher quelles avaient été les mesures prises, dans les régiments, pour suppléer à l'insuffisance des prescriptions sur le pointage, et de se faire rendre compte du mode suivi dans chaque corps. Les renseignements recueillis à cette époque ne furent ni assez complets ni assez précis pour que, de leur ensemble, on pût déduire un projet de règlement. Les corps furent de nouveau consultés (décision du 23 novembre 1848), et les Rapports à fournir durent faire connaître, non-seulement le mode employé dans chaque école, mais

aussi les moyens jugés les plus propres à former de bons pointeurs.

Après avoir examiné tous les documents transmis, le Comité a soumis au Ministre, qui l'a approuvé le 3 juin 1849, un projet d'instruction, à titre d'essai, concernant la formation des pointeurs dans les régiments d'artillerie.

Les chefs de corps ont été autorisés à proposer les modifications qu'ils croiraient nécessaires. Un compte rendu annuel doit faire connaître ces modifications et constater les résultats obtenus. Il est donc permis d'espérer que, dans un avenir prochain, les observations recueillies suffiront pour la rédaction d'un règlement définitif sur cette importante matière.

Cours spécial sur les ponts militaires à l'usage des sous-officiers du 15e régiment d'artillerie (pontonniers).

Une Commission composée d'officiers du 15e régiment d'artillerie (pontonniers) a été chargée de préparer, à l'usage des sous-officiers de ce corps, un cours spécial comprenant toutes les notions essentielles sur la reconnaissance des rivières, ainsi que l'explication suffisamment développée des principes théoriques et des procédés pratiques, applicables à la construction et à la conservation des ponts militaires.

Ce projet, révisé par le Comité, a été adressé au 15e régiment pour y être suivi seulement à titre d'instruction provisoire et susceptible d'être modifiée plus tard, selon le résultat des expériences exécutées à Strasbourg.

II. — POUDRES, MUNITIONS ET ARTIFICES.

Abrégé d'un cours d'artifices à l'usage des régiments et établissements d'artillerie.

Dans le n° V du *Mémorial*, on annonçait qu'un extrait du

cours d'artifices de l'École de pyrotechnie avait été renvoyé à l'examen de trois écoles, et que les observations et modifications qu'elles avaient présentées, avaient été communiquées à l'École de pyrotechnie, qui devait revoir et compléter son travail d'après ces renseignements.

Des changements nombreux et importants ayant été, depuis, apportés à ce cours, il devint nécessaire de modifier une partie des dispositions qui avaient été d'abord adoptées. Bien que plusieurs questions soient encore l'objet d'études et d'expériences en voie d'exécution, on n'a pas cru convenable de retarder plus longtemps la publication du cours. La nouvelle rédaction, approuvée par le Ministre, a été publiée en 1850.

Caisses d'ustensiles d'artifices.

Un projet de chargement des caisses d'ustensiles d'artifices, à placer sur le chariot de parc, pour le service des armées, avait été arrêté par l'École de pyrotechnie et soumis à l'examen de quatre écoles et directions d'artillerie, ainsi qu'on l'a vu dans les nos V et VI du *Mémorial*. Bien qu'une seule école, celle de Douai, ait présenté le résultat de ses expériences, l'organisation de divers corps d'armée a rendu urgente l'adoption, au moins provisoire, d'un mode uniforme de chargement. On a donc donné connaissance à tous les établissements de l'artillerie, du chargement proposé par l'École de pyrotechnie, en supprimant toutefois, dans chaque caisse, quelques ustensiles de peu d'utilité ou faciles, soit à confectionner, soit à suppléer en campagne, afin de donner plus d'espace aux autres ustensiles. Ainsi on n'aura plus besoin d'autant de précision dans les dimensions de toutes les parties des ustensiles, et un grand nombre d'entre eux pourront être pris dans le commerce.

La description de ce chargement a pris place dans le

cours d'artifices; elle est précédée de la nomenclature des outils et ustensiles et de leurs dimensions réglementaires. Les planches annexées au cours donnent le dessin de ces objets.

Étoupille fulminante.

Étoupille Dambry. — L'étoupille fulminante de M. Dambry, adoptée définitivement le 3 avril 1847, a continué à donner de bons résultats dans les écoles de tir. En 1846 et 1845, le nombre moyen des ratés a été de 2,68 pour 100, tandis que, dans les deux années précédentes, il avait été de 6,32 pour 100. La moyenne générale des ratés de toute espèce a été de 0,99 pour 100 en 1848, de 0,89 pour 100 en 1849, et de 0,86 pour 100 en 1850. On attribue cette amélioration à ce que les canonniers acquièrent chaque année plus d'habitude et d'adresse dans la manière de donner la secousse nécessaire à la détonation.

Quarante mille étoupilles fulminantes, envoyées de Paris à Grenoble, en 1849, avaient produit jusqu'à 7,39 pour 100 de ratés. On les a examinées avec soin à Paris, et ce qui restait a été réparti, en 1850, dans cinq écoles, pour que leur emploi y fût attentivement observé.

Le général commandant l'artillerie en Algérie, ayant cru reconnaître que des étoupilles fulminantes, emmagasinées sur le bord de la mer, s'étaient détériorées rapidement, il a été prescrit d'étudier avec soin cette cause de détérioration.

Une instruction provisoire pour la réception des étoupilles avait été approuvée le 5 avril 1846; une décision du 10 juin 1850 l'a rendue définitive. On y a donné la description détaillée de cet artifice, réglé son empaquetage et son embarillage pour les transports; on a aussi fixé les approvisionnements pour les différents services de campagne, de siége, de place et de côte, en conservant les bases adoptées pour les étoupilles à roseau.

Des essais ont été entrepris dans toutes les écoles, en 1850, sur l'étoupille réglementaire actuelle; sur l'étoupille modifiée, en ce sens que la résistance du bec du rugueux est réduite à 4 et à 6 kilogrammes, avec cravate tronconique recouverte de cire; et sur l'étoupille modifiée comme la précédente, mais sans cravate.

Étoupille Wuichet. — Cette étoupille peut être confectionnée sur place par des canonniers. Elle a donné des résultats au moins égaux à ceux de l'étoupille réglementaire, en ce qui concerne la communication du feu à la charge, et elle a satisfait à la plupart des autres conditions d'un bon service; mais il paraît que la composition fulminante contient de l'arsenic, dont la présence et la manipulation dans les salles d'artifices pourraient être dangereuses.

M. Wuichet supprime la griffe qui, dans l'étoupille de M. Dambry, termine le rugueux et s'agrafe sur le fulminoir. Cette griffe, qu'on peut rendre d'ailleurs aussi faible qu'on veut, est toutefois une garantie indispensable contre les accidents auxquels exposent les mouvements des munitions, qui ont lieu dans les coffres sur un champ de bataille.

Le Comité a pensé que l'étoupille Wuichet ne doit pas être adoptée comme artifice réglementaire de guerre, mais qu'elle peut offrir une ressource éventuelle, pour être employée peu de temps après sa fabrication (*).

Fusées des projectiles creux.

Les fusées des projectiles creux ont été l'objet, durant ces dernières années, de beaucoup d'expériences, qui conduiront sans doute bientôt à une solution satisfaisante.

Fusées en bois. — D'après une première série de recherches, l'École de pyrotechnie, pour prévenir les éclatements

(*) De nouvelles expériences sur cette étoupille viennent d'être entreprises à l'École d'artillerie de Metz.

prématurés, avait été amenée à augmenter la résistance du tube, en employant pour toutes les fusées un canal de 6 millimètres de diamètre, au lieu de 9 ou de 11 millimètres, aboutissant à un massif de 10 millimètres de hauteur, et à percer latéralement les fusées pour la communication du feu, au lieu de les couper en sifflet. Elle reconnut ensuite qu'on remédiait en partie aux extinctions et aux ratés : 1° en supprimant le calice et en fermant le haut du canal par un tampon d'argile, la tête de la fusée étant percée de quatre trous latéraux de 3 millimètres, amorcés par des bouts de mèches d'étoupilles; 2° en employant la composition de fusées à bombes pour toutes les fusées (3 pulvérin, 2 soufre, 1 salpêtre, le tout humecté au vingtième); et 3° en battant la composition au maillet, mode reconnu préférable, en campagne, au battage au mouton, et qui a donné des fusées d'une combustion au moins aussi régulière.

Cinq numéros de fusées devaient servir aux projectiles de siége, de place et de campagne, savoir : la fusée n° 1 pour bombes de 32 et de 27 centimètres, pouvant suffire à des portées de 2600 mètres; la fusée n° 2 pour bombes de 22 centimètres et des portées de 2200 mètres; la fusée n° 2 *bis* pour l'obus de 22 centimètres jusqu'à 2400 mètres; la fusée n° 3 pour les obus de 16 et de 15 centimètres, et la fusée n° 3 *bis* pour l'obus de 12 centimètres. Ces deux dernières fusées pouvaient suffire à des portées de 1500 mètres; mais, pour les projectiles chargés à l'avance, elles devaient être percées à 55 millimètres au-dessous de la tête, de manière à donner l'éclatement après cinq secondes environ.

Les expériences qui ont eu lieu à Metz, en 1848, ont montré que ces cinq numéros de fusées présentaient une régularité suffisante dans le tir, très-peu d'éclatements prématurés, peu d'extinctions, et enfin peu de ratés. D'après

ces résultats, le Comité a demandé que le nouveau modèle de fusées fût immédiatement soumis à des épreuves dans toutes les écoles.

Les expériences exécutées en 1849 ont donné lieu aux observations suivantes : L'uniformité apportée dans toutes les fusées par une réduction du diamètre intérieur du canal, et par l'emploi d'une seule composition, a été considérée comme un véritable progrès. La combustion dans le tir a été jugée régulière. Les extinctions ont été pour ainsi dire nulles. Il n'en a pas été de même des ratés de charge et des ratés de fusée; mais, à la vérité, les premiers, qui ont été de 16,06 pour 100, ont été attribués à la faiblesse de la charge intérieure des projectiles pour le tir d'école, et les seconds, dont la proportion a été de 6,30 pour 100 avec le tampon d'argile, ont été moins nombreux qu'avec les anciennes fusées.

Afin de diminuer cette dernière proportion, on a employé, en 1850, le tampon de pulvérin, avec lequel les ratés ont été de 6 pour 100.

Ces résultats, sans être entièrement satisfaisants, étaient bien supérieurs à ceux des fusées de l'ancien modèle. Cependant, avant de proposer l'adoption définitive du nouveau système, et pour arriver à corriger ce qu'il présentait encore de défectueux, le Comité a demandé que les épreuves fussent continuées dans toutes les écoles. L'ordre a été donné de suspendre la confection, d'après l'ancien modèle, dans tous les établissements.

Fusées métalliques. — Pendant les premières recherches de l'École de pyrotechnie sur les fusées en bois, les résultats obtenus avec les fusées métalliques dans le tir des obus à balles, engagèrent à essayer ces fusées avec tous les projectiles creux. Les fusées métalliques, formées d'un alliage de 6 de plomb, 3 d'étain et 1 d'antimoine, offrent l'avantage de former des tubes d'une très-grande résistance; mais,

le métal employé étaut lourd et cassant, elles se brisent au ras intérieur de l'œil, dans le tir à fortes charges; ce qui force de les faire très-courtes et d'allonger intérieurement l'œil du projectile.

Les fusées métalliques, proposées au nombre de trois, pour le tir de plein fouet et à ricochet des projectiles creux, de siége et de campagne, ont toutes plusieurs calices et plusieurs canaux parallèles correspondants, de 6 millimètres de diamètre. Ces canaux peuvent être indépendants ou communiquer les uns avec les autres par des conduits transversaux. Le calice, correspondant au canal de plus longue durée, reste seul ouvert; les autres sont fermés avec un tampon de cuir, qu'on peut enlever au moment du tir, ou qui est chassé par la poudre logée en dessous.

La comparaison du tir des fusées métalliques avec celui des fusées en bois a donné à ces dernières un avantage marqué. Dans le tir de plein fouet ou à ricochet des bouches à feu de siége, de place, de campagne et de montagne, le nombre total des coups perdus par ratés, extinctions ou éclatements prématurés, est toujours moindre avec les fusées en bois, quelle que soit l'espèce de projectile. Avec les fusées métalliques, on a, à la vérité, moins d'éclatements prématurés, mais beaucoup plus de ratés et d'extinctions. Considérées sous le rapport de la confection, les fusées en bois ont encore une plus grande supériorité : leur fabrication est plus simple, plus sûre, plus prompte et moins coûteuse. Elles sont presque les seules qu'on puisse faire en campagne. Dans la guerre de siége, le percement latéral permet de les régler à volonté au moment du tir, tandis que la fusée métallique ne peut correspondre au plus qu'à quatre distances.

Fusées métalliques pour le tir des bouches à feu de côte. — En écartant, d'après ce qu'on vient de dire, les fusées métalliques pour le tir des projectiles creux dans le service des bouches à

feu de siége, de place, de campagne et de montagne, on avait pensé que ces fusées pourraient être employées utilement dans le tir des bouches à feu de côte. Ces pièces variant très-peu de position, tirent, en général, sur des points bien déterminés à l'avance, et situés souvent à de grandes distances, qui nécessitent de fortes charges; l'avantage de pouvoir faire varier à volonté, au moment du tir, la durée de la fusée, n'est donc plus aussi grand, tandis qu'il importe d'avoir des fusées résistant bien aux fortes charges, et d'une conservation assurée dans les magasins humides des bords de la mer.

Les expériences comparatives faites à la Fère, en 1848, avec des fusées métalliques et des fusées en bois, les unes et les autres disposées à peu près comme les précédentes, ont montré qu'elles remplissent également bien les conditions d'inflammation et de portée, mais que les fusées en bois conservent toujours un grand avantage sous le rapport de la confection.

De nouvelles expériences comparatives ont été reprises sur une plus grande échelle, en 1850, et ont prouvé que le taraudage de l'œil des projectiles est indispensable, avec les fusées métalliques, dans le tir aux fortes charges, tandis que les fusées en bois, qui n'exigent pas cette opération, ont satisfait à toutes les conditions d'un bon service.

Les fusées en bois, essayées à la Fère, sont de trois numéros : n° 1, à trois canaux pour bombe de 32 centimètres, portée de 3 660 mètres; n° 2, à un seul canal pour obus de 22 centimètres, portée de 2 230 mètres; et n° 3, à un seul canal pour boulet creux de 30, portée de 2 300 mètres.

Fusées métalliques fixées par compression. — Les premières fusées métalliques étaient vissées, ce qui présentait l'inconvénient d'obliger à tarauder les projectiles. Des essais, faits à Vincennes par M. Bedford, avaient démontré la possibilité de supprimer le taraudage de l'œil et le file-

tage de la fusée, et de fixer cette dernière par compression. Des expériences plus étendues, faites à Vincennes en 1849, ont permis de constater que les fusées non filetées tiennent solidement au projectile, et que le tir a peu d'action sur elles; qu'elles communiquent, du reste, le feu aussi bien que les fusées vissées, que leur combustion est régulière, et que le tire-fusée suffit pour les arracher.

De nouvelles épreuves, répétées en grand à Metz, achèveront, sans doute, d'éclaircir cette question, si importante pour l'emploi des fusées métalliques et le tir des obus à balles.

Obus à balles.

En 1808, en Espagne, les Anglais se servirent d'obus à balles que le général Shrapnell avait fait adopter.

Deux obusiers, tirant des obus à la Shrapnell, furent pris par l'armée française, l'un avec son caisson, à la bataille d'Albuhera, l'autre à l'affaire de Marbella; ils donnèrent lieu à des recherches sur ce genre de tir, tant à Séville qu'à Paris. L'obus était du calibre de 24 anglais (15 centimètres environ) et avait de 14 à 15 millimètres d'épaisseur; il contenait 125 à 127 balles de plomb. L'œil de l'obus, allongé intérieurement de 40 millimètres environ, était taraudé et fermé par un tampon en bois; la fusée était en bronze, on la vissait dans l'œil au moment du tir. L'obusier était à chambre; la charge de tir était de 460 grammes.

Un obus à balles du calibre de 6 anglais (9 centimètres), rapporté d'Espagne par le général Éblé, contenait, avec les balles, une poudre sans soufre, à l'état de pulvérin. On fit couler des projectiles semblables, fabriquer de la poudre sans soufre, et on les essaya avec des fusées ordinaires en bois. Les faibles résultats obtenus, l'imperfection des fusées

et les événements politiques empêchèrent de donner suite à ces essais.

Les expériences faites de 1819 à 1835, en Angleterre, en Danemark, en Prusse et en Belgique, firent reprendre les essais en France, en 1836. (*Voir* le n° V du *Mémorial,* page 29.)

L'obus de 12 centimètres à parois minces et à lumière allongée intérieurement, adopté déjà par les Anglais et les Belges, parut aussi le plus convenable, et la fusée en bois, à virole en cuivre, de l'invention du colonel Parrizot, sembla également remplir, mieux que toutes celles qui avaient été proposées, les conditions exigées pour le tir. Cette fusée donnait l'éclatement de l'obus à trois distances différentes (*), 430, 540 et 640 mètres, au bout de deux, trois et quatre secondes de durée de combustion.

Les essais, exécutés d'abord avec l'obusier de 12 centimètres de montagne, eurent des résultats assez satisfaisants pour qu'on les soumit à une vérification dans toutes les écoles, et ensuite pour qu'on approvisionnât d'obus à balles cette bouche à feu, en Afrique.

On tira ensuite les obus à balles dans le canon de 12 et dans l'obusier de 15 centimètres. Mais ce dernier tir donna un si grand nombre d'éclatements dans l'âme de la bouche à feu, qu'on dut ajourner les expériences pour rechercher la cause de ces éclatements qu'on attribuait d'abord à la chambre de l'obusier.

On a vu, dans le n° VI du *Mémorial,* page 669, qu'on avait tiré, à Metz, en 1844, des obus à balles de 12 centimètres avec le canon de 12, de campagne. Les obus résistèrent à des charges de tir de 2 kilogrammes, tandis que, lors des premiers essais avec les obusiers, les obus s'étaient brisés avec des charges plus faibles.

(*) Ce tir était efficace à partir de 400 mètres jusqu'à 700 mètres où il devenait irrégulier.

Les expériences avec les canons furent reprises, à Vincennes, par une Commission spéciale, et elles ont été continuées à la Fère et puis à Metz.

On chercha, pour les canons de campagne, de 12 et de 8, et avec les obus à balles, les diverses conditions du tir, ses effets et ses limites quant aux distances. Les obus étaient chargés avec des balles libres et de la poudre de guerre. On essaya les balles du fusil d'infanterie, puis celles du pistolet de gendarmerie qui, entrant en plus grand nombre dans l'obus, furent préférées. L'obus était garni d'une fusée métallique à trois canaux, donnant l'éclatement du projectile à trois distances différentes, savoir : pour l'obus de 12 centimètres, à 600, 800 et 1000 mètres, et pour celui de 10 centimètres, à 500, 700 et 900 mètres. Cette fusée métallique n'ayant donné que de bons résultats, a toujours été employée depuis. Dans le principe, elle était vissée au projectile; on rechercha, depuis, si une fusée métallique lisse, tenant par une simple pression dans l'œil, ne serait pas préférable.

On passa ensuite au tir des obus à balles avec les obusiers de campagne.

Les obus de 15 et de 16 centimètres étaient chargés avec des balles d'infanterie libres et de la poudre de guerre. La fusée métallique de l'obus de 10 centimètres fut adoptée pour l'obus de 15 centimètres; celle de l'obus de 12 centimètres pour l'obus de 16 centimètres, sans modifications. Dès les premiers coups, on eut, comme en 1836, des éclatements dans l'âme. On les attribua à l'inflammation produite par le choc des balles, au moment du tir; et, en effet, ces accidents disparurent, dès qu'on remplaça la poudre de guerre par une poudre spéciale, moins inflammable, composée de 60 parties de salpêtre, 30 de charbon et 10 de soufre.

Toutefois, lorsqu'on soumit les obus à balles, chargés avec cette poudre spéciale, à l'épreuve du transport, les éclatements dans l'âme reparurent; la poudre spéciale, tri-

turée par les cahots de la route, était devenue plus inflammable. On chercha alors un moyen mécanique d'amortir le choc intérieur des balles. A la suite de divers essais, on proposa de couler du soufre dans l'obus, après qu'il a reçu les balles, puis d'y mettre de la poudre de guerre. Ce moyen prévint d'abord les éclatements dans l'âme avec tous les calibres, même avec l'obus de 22 centimètres, tiré dans l'obusier de côte; mais les effets du tir furent souvent affaiblis, parce qu'après l'éclatement, les balles, agglomérées par le soufre, ne se séparaient pas bien les unes des autres. On a essayé alors de rendre la masse qui relie les balles moins compacte, en faisant rouler l'obus immédiatement après la coulée du soufre. Ce moyen et quelques autres sont encore à l'étude.

Les écoles d'artillerie ont été en même temps chargées de répéter, en 1849, les expériences du tir des obus à balles, faites par la Commission spéciale, et aussi de comparer entre eux les effets, à différentes distances, des obus à balles et des boîtes à balles de campagne.

Ces expériences ont prouvé la nécessité d'étudier encore, pour tous les calibres, les détails du chargement intérieur des obus à balles. En effet, avec des obus que l'on n'a pas fait rouler immédiatement après la coulée du soufre, et dont le culot de soufre est par conséquent très-compacte, les écoles ont trouvé encore 5 pour 100 d'éclatements dans l'âme. Du reste, les derniers résultats du tir ont confirmé ceux qu'on avait obtenus antérieurement, sur la puissance des effets de ces projectiles et sur les limites adoptées, dès le principe, pour les distances du tir, soit des obus à balles, soit des boîtes à balles. En général, on compte sur l'efficacité des obus à balles de 10 et de 12 centimètres entre 500 et 1 000 mètres, et sur celle des obus à balles de 15 et de 16 centimètres entre 600 et 1 100 mètres.

Toutefois, ces projectiles ne peuvent, pour les distances rapprochées, suppléer les boîtes à balles, qui doivent être

conservées dans les approvisionnements, suivant les proportions actuelles.

Les études relatives aux obus à balles sont continuées, à Metz, non en ce qui concerne le tir, mais sur les détails du chargement intérieur du projectile, sur le meilleur mode à suivre pour assurer le chargement dans les coffres, sur le perfectionnement des fusées, etc.

Fusées de guerre.

Des essais sur le transport et le tir des fusées de campagne furent commencés à Metz, en 1844. Les fusées, équipées ou non de leur baguette, résistèrent parfaitement au transport, et le tir ne put accuser aucune différence entre les fusées neuves et les fusées ayant voyagé. Sur plus de mille fusées tirées, une seule éclata en l'air, et c'était une fusée neuve. Par suite de ces essais, on admit en principe que les fusées qui devaient voyager seraient équipées de leur baguette.

On reconnut que le tir à terre, incertain et irrégulier, ne pouvait servir que comme moyen d'embuscade, et que les tringles employées pour élever un peu la tête de la fusée, pouvaient être utiles pour faire franchir aux fusées un ravin très-rapproché, mais n'assuraient ni la justesse ni la régularité du tir.

L'affût à roues et à plusieurs tubes fut repoussé, comme annulant le principal avantage des fusées, qui est de pouvoir être tirées en tout lieu, presque sans appareils et sans machines.

L'affût trépied, rendu portatif, fut reconnu avoir, en toute espèce de terrain, une stabilité suffisante, et fut adopté pour le tir des fusées isolées.

M. le capitaine Rouge (*), pour conserver le tir en salve,

(*) Cet officier a péri, le 5 août 1848, victime de l'explosion de la salle d'artifices de l'École de pyrotechnie.

proposa d'employer à cet effet la caisse qui sert à porter les fusées, mais convenablement disposée.

Après des essais satisfaisants, ce mode a été adopté.

Le matériel des fusées de campagne se trouva donc réduit à un affût trépied du poids de 10 kilogrammes environ pour le tir isolé, et à une caisse garnie, pesant 25 kilogrammes environ, servant au tir en salve et au transport des fusées sur le chariot de batterie.

On a fait, depuis, de nouvelles recherches pour prévenir les éclatements fréquents des fusées de 9 centimètres et apprécier la valeur des moyens employés à l'étranger ou proposés en France par plusieurs officiers. On a étudié séparément la force motrice qui pousse la fusée et la résistance de l'air qui influe sur sa direction. Ce qui regarde la force motrice, c'est-à-dire la composition, le cartouche, les orifices d'écoulement, est expérimenté en faisant agir la fusée sur un appareil composé d'un dynamomètre et d'un chronomètre donnant l'intensité de la force à chaque instant de la combustion. La force motrice une fois bien connue, on doit rechercher, par l'expérience, les moyens d'assurer une marche régulière à la fusée. On déterminera ensuite les tables de tir et toutes les circonstances de l'emploi des trois calibres de fusées 5, 7 et 9 centimètres.

Fusées de guerre sans baguette directrice, proposées par M. le colonel Goupil.

M. le colonel Goupil, ayant proposé un système de fusées où se trouvent réunis le principe de rotation de M. Hall et le principe des cannelures de la balle oblongue, a été autorisé à faire des expériences sur cet objet. En conséquence, et d'après un programme établi par le Comité le 28 juillet 1849, une première série d'épreuves a été exécutée à la Fère, sur les fusées de guerre sans baguette. On avait

aussi pour objet d'étudier le mode de chargement du cartouche par pression et l'effet du système rotatif de M. Hall, sous le rapport des portées et des déviations. On employa des fusées chargées avec une presse présentée par M. le colonel Gonpil, en 1846. Ces fusées étaient du calibre de 5 centimètres, armées d'un boulet de forme ogivale, avec culot creux au centre et trois ou quatre évents, obliques à l'axe de la fusée, pour produire le mouvement de rotation. Quelques fusées portaient extérieurement sur le cartouche des anneaux circulaires en zinc, qui ont été fondus entièrement pendant le trajet.

Il résulta de ces essais : 1° que la presse de M. le colonel Goupil peut fournir un chargement régulier, et qu'elle est d'une manœuvre simple et facile (*); 2° que les fusées sans baguette et à mouvement de rotation ont des portées et une justesse au moins égales à celles des fusées à baguette. Sous ce rapport, les fusées à anneaux ont eu sur les autres une supériorité marquée, supériorité qui serait sans doute augmentée par l'emploi d'anneaux non fusibles.

Suivant le programme précité, du 28 juillet 1849, l'École de pyrotechnie doit procéder à une deuxième série d'expériences, afin de continuer les essais de la Fère sur les systèmes combinés d'anneaux à la surface du cartouche et d'évents inclinés pour produire la rotation de ce cartouche, et de remplacer ainsi la baguette directrice. Il ne sera statué qu'après ces épreuves, sur le mode de chargement à adopter et sur le modèle de fusée.

Sabots de projectiles.

Sabots en boissellerie. — Des expériences avaient été exé-

(*) Le chargement avec le mouton nécessite quatre hommes et une heure et demie de travail par fusée. Avec une presse bien établie, deux hommes pourraient charger une fusée en quarante minutes.

cutées dans diverses écoles, et en dernier lieu à Vincennes, sur l'emploi de sabots en boissellerie, pour le tir des obus dans la guerre de siége. Les résultats ayant été satisfaisants, il restait à s'assurer si ces sabots, confectionnés à l'atelier de précision, pourraient l'être également avec facilité partout ailleurs. Ces essais, faits dans quatre écoles, ont tous été favorables. Toutefois, il a été reconnu que l'emploi des sabots en boissellerie était inadmissible pour le service de campagne. Ils rendent la confection des cartouches longue et difficile, et résistent mal au transport.

On ne devait statuer sur les sabots en boissellerie, pour le service de siége, de place et de côte, qu'après les épreuves auxquelles on les aurait soumis, à la Fère, dans le tir du canon de 30 et de l'obusier de 22 centimètres, de côte, tir qui devait en même temps avoir pour but l'essai comparatif des fusées métalliques et des fusées en bois.

Ce double essai a eu lieu, mais les expériences ont été trop peu nombreuses pour permettre d'en tirer une conclusion définitive.

Des épreuves spéciales faites, en 1848, à l'Ecole de pyrotechnie, ont montré les avantages de cette espèce de sabots, mais pour le service de siége et de place seulement, et ces avantages ont été confirmés dans des expériences exécutées à Cherbourg, en 1849, avec des canons de 36 et des obusiers de 22 centimètres, de côte.

Dans cet état de choses, et pour achever de résoudre la question, l'emploi des sabots en boissellerie a été prescrit aux écoles, avec les pièces de siége, de place et de côte, comparativement avec les sabots en bois tourné. Ces essais ont été commencés en 1851.

Sabots en pâte de carton. — MM. Regnier et Massemberg, de Saint-Pétersbourg, avaient présenté, dans le courant de l'année 1845, des sabots en pâte de carton ayant, disaient-ils, la propriété d'être réduits en poussière par le tir. Les

résultats des essais qui eurent lieu à Vincennes furent si défavorables, qu'ils firent rejeter cette espèce de sabots.

M. Montigny, associé de M. Massemberg, demanda, depuis, à reprendre les expériences avec des sabots qu'il disait avoir améliorés, en les rendant plus fragiles dans le tir et moins sensibles à l'humidité. Il est résulté des nouveaux essais, que l'emploi des sabots en pâte de carton ne présente aucun avantage important; leur conservation exige des soins particuliers, compliqués et continus, pour les préserver de l'humidité qui les détruit promptement.

Sabots en papier roulé et en carton. — Des sabots confectionnés en papier roulé et en carton ont été présentés pour le service des bouches à feu, dans la guerre de siége. Ces sabots, dont le prix doit être assez élevé et la confection minutieuse, paraissaient avoir donné de bons résultats dans les essais entrepris en Belgique. Mais l'École de pyrotechnie qui a été chargée de les expérimenter n'en a pas été satisfaite.

Gargousses.

L'École de pyrotechnie et l'École de Metz ont été chargées, en 1843 et 1845, de comparer entre eux, dans la confection et l'emploi des gargousses, le papier-parchemin employé par la marine, le papier et le parchemin ordinaires.

Il a été constaté par ces essais, que le papier-parchemin pouvait remplacer avantageusement le parchemin dans le tir à boulets rouges. Les cent gargousses en papier-parchemin coûtent de 29 à 38 francs, tandis qu'en parchemin elles coûtent 100 francs. Pour le tir ordinaire, les avantages du papier-parchemin sur le papier sont trop faibles et son prix est trop élevé pour qu'on puisse l'adopter. Car, dans le service des bouches à feu de siége et de place, les gargousses ne

servent qu'à conduire la poudre de la bouche de la pièce au fond de l'âme, puisque, remplies dans le magasin, elles sont portées jusqu'à la pièce dans un gargoussier que l'on ne peut songer à supprimer. Dans ces conditions, le papier fort suffit parfaitement, et les cent gargousses en papier ordinaire grand éléphant mi-blanc ne coûtent que 5 francs.

Pour le service des bouches à feu de côte, on peut avoir en magasin des gargousses remplies à l'avance et prêtes à être tirées; le papier ne peut plus alors convenir, parce que la poudre ne s'y conserve pas. Comme la marine emploie, dans des circonstances de tir à peu près semblables, le papier-parchemin, cette matière a été adoptée pour le service des côtes.

Les expériences de Metz ont fait voir que, pour ce papier-parchemin, la colle de farine mélangée de colle-forte est, au moins, aussi convenable que la colle au caséum, adoptée par la marine, et que son emploi rend la confection moins longue et moins difficile.

Sachets pour les charges destinées au tir en blanc des obusiers de campagne.

Une Commission a été chargée à Vincennes, de rechercher la forme à donner aux charges destinées au tir en blanc des obusiers de campagne, pour éviter les accidents qui peuvent résulter des nombreux ratés de charge, produits dans ce tir, par les sachets réglementaires. Elle a reconnu qu'en diminuant le diamètre des sachets des canons de campagne par une seconde couture faite sur toute la longueur, à 1 centimètre de la première, on obtenait un sachet pouvant servir au tir en blanc des obusiers de campagne. Le sachet ainsi rétréci pour obusier de 15 centimètres, a une longueur minimum de 180 millimètres pour la charge de 1 kilogramme, et le sachet d'obusier de 16 centimètres a

une longueur minimum de 200 millimètres pour la charge de 1kil,50. Des sachets ainsi modifiés ont été soumis à un tir très-rapide, et les inconvénients signalés dans le tir en blanc avec les sachets d'obusiers réglementaires, qui se retournaient dans l'âme, ne se sont pas reproduits.

Par cette très-simple modification aux sachets des canons de campagne, on n'aura point à découper des rectangles et des culots différents pour le tir en blanc et pour le tir réel; ce qui pourrait produire quelque confusion. Il suffira de rétrécir, après leur confection, seulement le nombre de sachets de 8 et de 12 destinés au tir en blanc.

Sur la proposition du Comité, cette modification a été adoptée par une décision ministérielle du 11 juillet 1850.

Sachets en bourre de soie.

En 1836, le Comité avait été appelé à donner son avis sur la substitution du tissu en bourre de soie à la serge, pour la confection des munitions de campagne. Quelques essais eurent lieu à Vincennes; mais la rareté et le haut prix, en France, des étoffes de cette espèce, les firent rejeter, bien que les épreuves parussent favorables.

Une étoffe de soie, appelée *buratine,* fut aussi essayée, en 1844, à Toulouse, et rejetée, à cause du tamisage provenant du tissu qui était trop grossier.

Toutefois, la production de la soie, depuis 1835, a pris beaucoup d'extension en France, et tend à s'accroître de jour en jour, ce qui permet d'espérer que le prix des tissus en bourre de soie, qui est aujourd'hui inférieur à celui de la serge, ne s'élèverait pas aussi rapidement qu'on a pu le craindre en 1836, s'il fallait pourvoir à des fournitures considérables.

On a donc accueilli avec empressement les propositions tendant à remplacer la serge par la bourre de soie. Les échantillons envoyés, dont les prix ne dépassent pas ceux

de la serge, ont été essayés à Metz. Tous les résultats ont été à l'avantage du tissu croisé et calandré, présenté en premier lieu par M. Chastellux, et ensuite par M. Ruzé. Cette étoffe est très-forte, très-souple, résiste bien au transport des munitions, ne laisse pas tamiser la poudre, ne conserve pas le feu, ne donne que très-peu de résidus dans le tir, et n'est pas attaquée par les vers.

Avant d'adopter définitivement les tissus de MM. Chastellux et Ruzé, on a pensé qu'il était convenable de les mettre en essai dans toutes les écoles, sur la moitié des munitions de campagne employées dans les exercices à feu; mais la fourniture qui avait été demandée n'a pas encore été livrée.

D'autres tissus de soie pour sachets ont été proposés par M. Gavanon, fabricant à Nîmes. Les épreuves préliminaires, faites en 1849, à l'École de pyrotechnie, sur les tissus de soie n°s 12 et 15 de M. Gavanon, ont démontré que ces tissus ont plus de résistance que la serge de laine, dans les deux sens de la trame et de la chaîne, mais que le tissu de soie, proposé antérieurement par M. Chastellux, est plus fort que le tissu Gavanon dans le sens de la chaîne, ce qui est un avantage. La serge est plus épaisse et plus lourde que le tissu Chastellux, et moins épaisse et moins lourde que les tissus Gavanon. Le temps de confection des sachets est sensiblement le même avec les trois espèces d'étoffes. Le prix de revient, comparé à celui de la serge, serait à peu près de 63 : 100 pour le tissu Chastellux, et de 75 : 100 pour les tissus Gavanon. Dans le montage des cartouches à boulet, ces derniers tissus sont inférieurs aux deux autres; ils ont cédé d'une matière notable au tassement de la poudre.

Afin de s'assurer entièrement si les tissus Gavanon pourraient être employés, on a autorisé de nouvelles épreuves de transport et de tir, qui seront faites, à Metz, sur des

munitions confectionnées avec ce qui reste de ces étoffes à l'École de pyrotechnie. On doit procéder à ces épreuves d'après le programme du 2 novembre 1845, qui a servi à des expériences analogues sur d'autres tissus.

Différentes substances ont encore été présentées pour remplacer la serge : ce sont des papiers-parchemin, des membranes animales, des tissus recouverts d'enduits ou de caoutchouc, ou enveloppant une couche de cette matière.

Les premiers n'ont pu résister ni à la confection ni au transport, et ont dû être immédiatement rejetés. Quant au dernier tissu, proposé par M. Ledoux, de Bonny-sur-Loire, il a eu une supériorité prononcée sur la serge, dans le transport et dans les essais à l'humidité; mais, dans le tir, on trouva qu'il donnait trois fois plus de résidus que la serge, que les culots restaient dans l'âme trois fois sur cinq coups, et étaient ensuite refoulés dans la lumière qu'ils engorgeaient, de telle sorte que la pièce se trouvait momentanément enclouée. De si graves inconvénients ont fait repousser l'emploi de cette étoffe.

Amorces fulminantes pour fusées de grenades.

A la suite des expériences effectuées par l'École de pyrotechnie sur les amorces fulminantes pour fusées de grenades, et dont il a été rendu compte dans le n° VI du *Mémorial*, page 650, quatre écoles reprirent les essais dans les conditions ordinaires du service. La moyenne des ratés, dans ces quatre écoles, a été de 4,7 pour 100 dans le tir à la main, et de 0,6 pour 100 dans le tir avec le pierrier.

Ces résultats ont paru assez satisfaisants pour que le Comité proposât l'adoption de cette amorce, et chargeât l'École de pyrotechnie de rédiger une instruction sur sa fabrication et sur son emploi dans le tir, soit à la main, soit avec le pierrier.

Cette instruction, approuvée par le Ministre, le 8 mars 1846, a été introduite dans le cours d'artifices.

M. Dambry a proposé, en 1843, une amorce fulminante pour fusées de grenades. Cette amorce n'est, à peu de chose près, que l'étoupille fulminante vissée dans le canal de la fusée. Les essais faits à Metz ont démontré que ce mode d'amorce était vicieux, surtout en ce qu'il ferme le canal de la fusée.

Les recherches faites sur le tir des grenades avec le pierrier ont conduit à modifier un peu le chargement du panier, à l'effet d'éviter le bris fréquent des grenades dans le tir. Cette modification consiste à placer entre les couches de grenades, des plateaux en bois, percés.

En même temps, quelques essais ont été faits sur un mode de tir des grenades avec le mortier de 15 centimètres, proposé par M. le capitaine Moisson. Les grenades sont placées dans une boite en tôle, qui s'applique sur la tranche de la bouche à feu. Un culot en bois, entrant de quelques centimètres dans l'âme, maintient la boite dans cette position. Les résultats du tir ont été satisfaisants, et ce procédé pouvant avoir des applications utiles, M. Moisson a été engagé à continuer ses essais et à les étendre au tir des projectiles creux plus forts que les grenades, et avec les mortiers de 22 et de 27 centimètres.

Balles à feu.

On a vu, dans le n° VI du *Mémorial*, que l'École de pyrotechnie avait été chargée de faire des essais pour armer les balles à feu avec des projectiles creux plus petits que ceux qui étaient adoptés, afin que la balle à feu pût contenir plus de composition sèche, seule matière éclairante.

L'École fit confectionner, en conséquence, des balles à feu armées d'un projectile du calibre immédiatement inférieur à l'ancien. Elles résistèrent bien à la charge du vingt-

cinquième, et parurent donner plus de clarté et durer plus longtemps que les anciennes balles à feu.

Le Comité, avant d'en proposer l'adoption, demanda des essais comparatifs dans quatre écoles. Ces essais ne conduisirent à rien de décisif; la portée des nouvelles balles à feu est moindre que celle des anciennes; la durée de combustion est à très-peu près la même; les nouvelles paraissent éclairer un peu mieux; la charge du vingt-cinquième est un peu trop forte. Tels furent les résultats; mais les quatre écoles s'accordèrent à conclure que les balles à feu, anciennes et nouvelles, sont d'un très-faible effet comme moyen d'éclairage. Il devenait donc nécessaire d'améliorer ces artifices, et le Comité demanda qu'il fût fait des recherches, en commençant par l'étude des compositions éclairantes.

L'École de pyrotechnie, par deux épreuves photométriques se contrôlant, faites sur sept compositions éclairantes, constata d'abord que la composition qui donne le plus de clarté est à peu de chose près celle dite *pour flamme du Bengale;* mais, ayant reconnu en même temps que cette composition ne peut être employée avec le mode ordinaire de confection des balles à feu, elle a cherché à l'utiliser en modifiant le système d'enveloppe en usage.

On étudia successivement la position du projectile dans la balle à feu, son moyen d'attache à l'enveloppe, la nature et la forme de cette enveloppe, le mode de tir, enfin le moyen de communiquer le feu à la composition éclairante et au projectile creux. Les résultats de ces recherches ont conduit aux nouvelles balles à feu qui ont été adoptées.

Le prix de revient est un peu plus élevé que celui des anciennes balles à feu; mais la confection est beaucoup plus simple et plus prompte: elle ne présente aucun danger, tandis que l'ancienne composition, faite sur le feu, avait souvent donné lieu à des accidents graves. Ces nouvelles balles à feu peuvent être employées tout de suite et ont une

grande puissance éclairante; les anciennes ne pouvaient être tirées que plusieurs mois après leur confection, et leur éclairage était peu satisfaisant.

Les nouvelles balles à feu, garnies d'un tampon en paille tressée, résistent très-bien à la charge du vingt-cinquième ; mais les portées, qui sont alors de 850 mètres, ont paru plus grandes qu'on n'en a besoin ordinairement, et la charge a été réduite au quarantième du poids de la balle à feu, charge qui donne des portées d'au moins 600 mètres.

La nouvelle balle à feu de 22 centimètres a, de plus, très-bien résisté à l'épreuve du tir avec l'obusier de 22 centimètres.

Tous les détails de confection et de tir de ces nouvelles balles à feu, approuvés le 21 août 1847, ont pris place dans le cours d'artifices.

Dispositions nouvelles pour l'épreuve de dureté des poudres de guerre.

D'après une instruction du 5 juin 1835, les épreuves de dureté des poudres de guerre doivent avoir lieu tous les six mois. Une décision du 31 juillet 1847 a fixé à 820 et 860 grammes les limites de la densité gravimétrique, et à 0,25 pour 100 la quantité de poussier à tolérer. L'épreuve doit se faire sur 8 kilogrammes, dans un baril d'une capacité de 12 kilogrammes, lequel est renfermé dans un baril de 50 kilogrammes, roulant sur un plan incliné à 15 degrés, garni de tasseaux. L'étendue du trajet est fixée à 1 000 mètres.

Le Directeur du service des poudres, voulant rendre l'épreuve de dureté plus facile, a proposé de renfermer le baril de 12 kilogrammes dans une chape spéciale ayant les dimensions proportionnelles à celle des barils à poudre ordinaires. Le poids et les dimensions de la chape d'épreuve ont été diminués; la manœuvre est plus aisée; les

dimensions du plan incliné ont été réduites; il faut un local moins étendu, parce qu'on a fixé à 5 mètres, au lieu de 10 mètres, la longueur du plan incliné qu'on a fait double. L'inclinaison reste fixée à 15 degrés; chaque plan est garni de tasseaux qui sont distants de 1 mètre les uns des autres et qui ont une saillie de 35 millimètres.

L'essai de la substitution d'une chape spéciale au baril de 50 kilogrammes a montré que les ballottements intérieurs étant diminués, la quantité de poussier, dans un trajet de 1 000 mètres, était aussi réduite; on a alors fixé à 16 grammes, au lieu de 20 grammes, la quantité de poussier à tolérer sur un échantillon de 8 kilogrammes.

L'épreuve de dureté doit continuer à avoir lieu tous les six mois dans les poudreries; elle ne sera faite plus souvent qu'autant que les inspecteurs de ces établissements le jugeraient utile.

Lissage et grenage des poudres.

Après plusieurs années d'études et après de nombreuses expériences d'une Commission spéciale, un procédé réglementaire (la tonne-lissoir) a été prescrit, pour le lissage des poudres de guerre, par une décision ministérielle en date du 29 juin 1847.

La Direction des poudres a proposé un procédé pour grener les poudres, qui consiste à les placer dans des cylindres à double enveloppe de toile métallique, où elles reçoivent un commencement de lissage.

Les essais en petit, faits avec cet appareil, ont été satisfaisants; mais avant de l'adopter, il a paru convenable de le soumettre à des épreuves nombreuses, en été et en hiver, au nord et au midi, sur les poudres à canon et à mousquet.

III. — BOUCHES A FEU ET PROJECTILES.

Bouches à feu en fonte de fer pour la défense des places.

On a fait connaître au n° VI du *Mémorial*, pages 662 et suivantes, que des épreuves devaient avoir lieu sur quatorze bouches à feu en fonte de fer, d'un nouveau tracé et destinées à la défense des places. Ces épreuves, exécutées en 1844 et 1845, à la Fère, ayant permis de constater que l'obusier de 22 centimètres avait toute la résistance désirable, cette bouche à feu fut adoptée en principe, par décision ministérielle du 10 août 1845. Les épreuves furent continuées la même année sur les canons de 24 et de 16, qui furent reconnus offrir une résistance satisfaisante, et leur adoption fut aussi prononcée, en principe.

Pour ces deux canons, comme pour l'obusier déjà admis, la forme la plus convenable à donner au raccordement du fond de l'âme restait à déterminer. Deux raccordements avaient été essayés : l'un formé par un arc de cercle d'un rayon égal au quart du diamètre de l'âme, l'autre hémisphérique. Tous deux avaient donné des résultats satisfaisants. Toutefois, il fut décidé que l'on continuerait les expériences, afin de constater d'une manière encore plus certaine l'influence que pouvait avoir chacun de ces raccordements sur la conservation de la pièce. Ces nouvelles expériences firent reconnaître qu'avec le raccordement au quart du diamètre de l'âme, la rupture de la pièce avait une tendance plus particulière à suivre une ligne perpendiculaire à l'axe, tandis qu'avec le raccordement hémisphérique, la ligne de rupture semblait se manifester suivant une génératrice. Un raccordement intermédiaire paraissait donc préférable ; par suite, le Ministre décida, le 4 septembre 1846, que le rayon du raccordement du fond de l'âme des deux canons serait du tiers du calibre, et que ce

rayon serait du tiers du diamètre de la chambre pour le raccordement de cette chambre dans l'obusier.

Une disposition particulière de l'écrou de vis de pointage permettait l'emploi d'un même affût pour les trois bouches à feu; on donna donc aux canons de 24 et de 16, le même écartement des embases et le même diamètre des tourillons qu'à l'obusier, où ces dimensions sont les plus fortes. L'affût, construit dans les conditions qu'on vient d'exposer, peut aussi recevoir le canon de 30 long; de sorte qu'un seul affût suffit pour ces quatre pièces en fonte de fer.

On a donné à la partie de la culasse qui doit reposer sur la vis de pointage, une forme telle que la pièce soit constamment en contact, dans toutes les positions, avec le centre du plateau de cette vis. Cette partie de la culasse est arrondie suivant une surface cylindrique, dont les génératrices, parallèles à l'axe des tourillons, s'appuient sur un arc de cercle tracé dans le plan vertical de tir. Cet arc se rapproche, autant que possible et d'une manière assez exacte pour la pratique, de la développée du cercle tangent à l'axe de la vis et dont le centre est au milieu de l'axe des tourillons.

Une disposition, dont le principe est généralement admis dans la confection des objets en fonte de fer, a été introduite dans les tracés des trois bouches à feu; elle consiste à raccorder, au moyen d'un arc de cercle de 10 millimètres de rayon, les tourillons avec les embases, et celles-ci avec le renfort, au lieu de laisser à angle vif les lignes de jonction, comme on l'avait pratiqué jusqu'à ce jour.

La saillie de la plate-bande de la bouche des canons de 24 et de 16, nécessaire pour établir le but en blanc naturel à 400 mètres, présentait l'inconvénient de forcer à élargir et à approfondir l'embrasure, et, par suite, de découvrir les servants de la pièce; aussi, par une décision ministérielle

du 25 septembre 1847, les canons de 24 et de 16, en fonte de fer, destinés à la défense des places, furent ramenés à avoir respectivement le même but en blanc que les pièces en bronze des mêmes calibres; le diamètre de la plate-bande de la bouche des canons en fonte de fer fut réduit de manière à satisfaire à cette condition.

Après avoir subi les modifications que l'on vient de rapporter, le tracé des trois bouches à feu en fonte de fer, destinées à la défense des places, a été définitivement adopté par décision ministérielle du 17 octobre 1847.

Bouches à feu en fonte de fer se chargeant par la culasse et tirant des projectiles ogivo-cylindriques.

Par suite d'expériences entreprises à Turin et continuées pendant dix années consécutives, un mode de chargement par la culasse avait été proposé par M. Cavalli, capitaine dans l'artillerie sarde, et successivement amélioré par cet officier. Le gouvernement piémontais, jugeant qu'on pouvait en faire des applications utiles, donna l'ordre d'employer à la défense du port de Gênes, vingt-deux bouches à feu de ce système (vingt obusiers de 22 centimètres et deux de 27 centimètres). Une fonderie suédoise fut chargée de leur fabrication que M. Cavalli eut mission de surveiller.

Dès le début, cet officier pensa qu'il serait possible d'appliquer ces bouches à feu au tir des projectiles allongés, et il entreprit à ce sujet des épreuves préliminaires, auxquelles fut consacré un canon de 24 se chargeant par la culasse, d'après le système de M. Wahrendorff, maître de forge à Aker. Il obtint, dans le tir de cette pièce, les résultats moyens qui suivent :

ANGLES DE TIR.	CHARGES.	POIDS des projectiles.	PORTÉES MOYENNES.
o	kil	kil	
6,55	3,400	17,700	2560 mètres.
15,00	3,400	17,320	3600 mètres.
15,00	4,250	17,150	3950 mètres.
15,00	5,100	24,000	4350 mètres.

Encouragé par ces résultats, M. Cavalli obtint de son gouvernement l'autorisation de forer au calibre de 30 (diamètre 165 millimètres), les bouches à feu qu'on avait destinées à être des obusiers de 22 centimètres, et au calibre de 60 (diamètre 210 millimètres), celles qui devaient être des obusiers de 27 centimètres, et de les disposer toutes pour le tir des projectiles allongés. Une bouche à feu, du calibre de 30, fut mise en essai pour constater la résistance de ces pièces au tir des nouveaux projectiles, et pour reconnaître quels avantages de portée et de justesse on pouvait attendre de leur emploi. Le tableau suivant contient les résultats obtenus du dix-huitième au vingt-troisième coup, avec des projectiles dont la partie antérieure avait la forme ogivale. Les autres coups ont été tirés dans des conditions toutes différentes, quant au poids, à la forme, au vent des projectiles et à l'inclinaison des rayures.

Les deux rayures, pratiquées dans la pièce, ayant le pas de $3^{m},78$, on a obtenu les résultats qui suivent :

NUMÉROS des coups.	POIDS des projectiles.	POIDS des charges.	ANGLE de tir.	PORTÉES.		DÉRIVATIONS à droite.
	kil	kil				
18	31,20	4,00	13°	3379m	Moy. = 3470 m.	93m
19	31,45	4,00	13	3488		83
20	31,28	4,00	13	3525		96
21	31,69	4,00	13	3338		93
22	31,41	4,00	13	3572		77
23	31,58	4,00	13	3510		97

La portée moyenne étant de 3 470 mètres, est supérieure de plus de 900 mètres à celle que donnerait l'obusier de 22 centimètres avec la même charge et le même angle de tir.

Les pénétrations dans le sol, observées aux divers points de chute, ont été considérables. Les résultats du calcul sont en cela confirmés par l'expérience. Sous ce rapport donc, les projectiles ogivo-cylindriques seraient encore très-supérieurs aux obus de 22 centimètres qui, lancés par la plus forte charge ($3^{kil},50$), n'ont plus, au delà de 1 200 mètres, assez de vitesse pour se fixer dans la coque d'un vaisseau, en pénétrant dans le bois d'une quantité égale à leur diamètre.

Dans la colonne ayant pour titre *dérivations*, on voit que les projectiles ont été emportés à droite par un mouvement qui a produit un écart moyen de 89 mètres, à la distance de 3 470 mètres, et qui s'est montré d'une régularité remarquable; de sorte que, si le pointage eût été modifié dans cette prévision, c'est-à-dire si la ligne de mire eût été dirigée dans un plan vertical passant à 89 mètres à gauche du but, la déviation latérale moyenne n'eût été que de $6^{m},80$.

L'écart moyen longitudinal, par rapport à la portée moyenne de 3 470 mètres, est de 72 mètres. On en déduit approximativement un écart moyen vertical de $22^{m},20$, relativement au point d'impact, sur un panneau placé à 3 470 mètres de la bouche à feu.

Ces deux nombres,

$6^{m},30$ écart moyen lateral,
$22^{m},20$ écart moyen vertical,

peuvent faire apprécier le degré de justesse du tir des projectiles ogivo-cylindriques, essayés en Suède, à la distance de près de 3 500 mètres.

On se fera une idée de la justesse de ce tir comparé à

celui des projectiles sphériques, en se rappelant (*) qu'à la distance de 2 400 mètres les déviations moyennes sont :

Pour l'obusier de 22 centim. de la marine............	Déviation latérale...	47 mètres,
	Déviation verticale..	52 mètres;
Pour le canon de 30.....	Déviation latérale...	32 mètres,
	Déviation verticale..	35 mètres,

et qu'à la distance de 3 500 mètres, le mortier à plaque, de 32 centimètres, de la marine donne :

Écart moyen latéral.....	117 mètres,
Écart moyen longitudinal.	70 mètres.

Les résultats qu'on vient d'indiquer furent recueillis par M. le capitaine d'artillerie Lepage (**), envoyé à Aker (Suède), en 1846, par le gouvernement français; ils parurent au Comité dignes d'intérêt; et, sur sa proposition, le Ministre de la Guerre donna l'ordre de confectionner deux canons de 30 se chargeant par la culasse, d'après le système Cavalli, et une bouche à feu ayant les dimensions extérieures de l'obusier de côte de 22 centimètres, mais forée au calibre de 30. Ces trois pièces devaient être rayées pour servir au tir des projectiles ogivo-cylindriques.

Dès les premiers jours de 1848, les trois bouches à feu étaient transportées dans les cours du Dépôt central, mais les événements politiques vinrent mettre obstacle à l'exécution des expériences.

Cependant une épreuve préliminaire avait été faite à Vincennes; on y employa un canon de 30 long, se chargeant par la bouche, rayé au pas de 5 mètres, et des projectiles dont le poids a varié de 18 à 23 kilogrammes. Mais on a été loin

(*) G. PIOBERT, *Traité d'Artillerie théorique et pratique*. Partie élémentaire et pratique.

(**) Aujourd'hui chef d'escadron.

d'obtenir les résultats remarquables qui s'étaient produits en Suède. Le tir effectué contre les panneaux, aux distances de 400, 600 et 1 000 mètres, a donné des portées très-irrégulières, particulièrement à cette dernière distance.

Dans le courant de l'année 1850, des études ont été faites en Angleterre sur des bouches à feu des systèmes Cavalli et Wahrendorff. M. le capitaine Lepage fut envoyé à Sheebury-Ness pour suivre ces nouvelles expériences.

Il paraît qu'on y a été moins satisfait du mode de chargement par la culasse qu'on ne l'avait été en Suède. Quoi qu'il en soit, les épreuves projetées à la Fère permettront sans doute d'apprécier définitivement le système Cavalli.

Bouches à feu en bronze se chargeant par la bouche avec des projectiles allongés. — Une proposition a été également faite en 1850, par M. le capitaine d'artillerie Tamisier, pour appliquer des projectiles allongés à ailettes au tir des canons de campagne, en bronze, rayés et se chargeant par la bouche. Sur la demande du Comité, des essais ont été commencés à l'école de Vincennes pour être continués à la Fère. Les nouveaux projectiles ont d'abord été employés au tir des pièces de 6, et seront étendus plus tard, s'il y a lieu, aux calibres en usage. Il est probable que les recherches relatives aux petits calibres, outre leur utilité propre, répandront du jour sur celles qui concernent les gros calibres.

Bouches à feu en fer forgé fabriquées au Creusot.

En 1846, le Ministre de la Guerre décida qu'un canon de 24 et un canon de 16, en fer forgé, seraient fabriqués dans les usines du Creusot, puis forés et tournés à la fonderie de Strasbourg, et soumis à des épreuves de tir.

Ces épreuves furent exécutées à Strasbourg, en 1847, et ne donnèrent pas de bons résultats. Le canon de 16 éclata, après avoir tiré trois cent quarante-quatre coups à la charge du tiers; l'éclatement était dû à un défaut de soudure. Le

canon de 24 résista à un tir de deux mille huit cents coups, dont dix-huit cents à la charge du tiers, et mille à la charge de moitié. Après ce tir, il présentait des dégradations assez graves. Les deux canons n'avaient pas reçu de grain de lumière; après six cents coups à la charge du tiers, la lumière du canon de 24 avait ses deux orifices très-évasés et des affouillements considérables dans l'intérieur du canal; on fut obligé de mettre un grain de lumière.

Toutefois on put constater, pour le canon de 24, l'avantage bien réel de la conservation de l'âme. Les logements du boulet, soit à la charge du tiers, soit à la charge de moitié, étaient peu sensibles, et il n'y avait pas de traces de battements. Les accroissements de diamètre ont été plus faibles que dans les expériences exécutées à Douai, en 1838 et 1839, sur des canons en bronze.

Obusier long, en fer forgé, de M. Tréadwel.

Le 31 mars 1847, le Ministre de la Guerre approuvait un programme proposé par le Comité pour les épreuves à faire subir, à Vincennes, à un obusier long, en fer forgé, du calibre de 162^{mm},3 (calibre de 32 anglais), envoyé par M. Tréadwel, professeur à l'université de Cambridge.

L'obusier de M. Tréadwel avait été fabriqué au moyen d'anneaux juxtaposés, chauffés au blanc et soudés par l'action d'une presse hydraulique. La culasse était fermée par un tampon à vis, et les tourillons faisaient corps avec une bague assemblée à vis sur le deuxième renfort. Dans une notice imprimée en 1845, M. Tréadwel parle de canons de 6 qu'il a fait fabriquer aux États-Unis, avec la paroi de l'âme en acier; mais, à propos des canons obusiers du calibre de 32 anglais, il ajoute qu'il en a fait faire avec âme entièrement en fer, par suite de la difficulté de se procurer des aciers convenables. On s'est, en effet, assuré

au Dépôt central que l'action de l'acide nitrique étendu d'eau, sur la tranche de la bouche de l'obusier mis en essai, ne faisait ressortir aucune différence de teinte entre les parties voisines de l'âme et celles qui étaient situées à l'intérieur : on est donc fondé à penser que cette pièce n'avait pas d'âme en acier.

Quoi qu'il en soit, dans les épreuves exécutées à Vincennes, l'obusier résista à un tir de huit cents coups, dont trois cents tirés avec l'obus de 16 centimètres, de la marine, et cinq cents avec le boulet plein de 30 et avec des charges qui s'élevèrent, pour les deux cents derniers coups, à $2^{kil},70$. L'âme était dans un parfait état de conservation, sans logement ni battements. Le miroir n'y a pas fait découvrir la moindre dégradation. La lumière seule présentait quelque altération qui avait commencé à paraître au trois cent cinquantième coup. A la fin du tir, la lumière était évasée de manière à avoir, à la partie intérieure, 11 millimètres de diamètre. Nonobstant ces résultats, le procédé de fabrication employé par M. Tréadwel ne parut pas assez pratique pour qu'on en essayât l'application en France.

Bouches à feu en fer forgé fabriquées à Rive-de-Gier (Loire).

Les expériences sur les canons du Creusot et sur l'obusier de M. Tréadwel autorisaient à conclure que les âmes des canons en fer forgé conservaient pendant le tir toute leur régularité, et que, si l'on parvenait à trouver un procédé de fabrication qui donnât des pièces bien soudées dans toute leur étendue, on pouvait espérer un bon service des bouches à feu en fer forgé.

On était porté à attribuer les mauvais résultats donnés par les canons du Creusot, surtout sous le rapport de la soudure, au poids trop faible du marteau-pilon qui ne pesait que 2000 kilogrammes, et à quelques autres imperfections

dans les procédés employés. Mais de nouveaux renseignements signalaient, en 1848, l'établissement de MM. Petin et Gaudet, à Rive-de-Gier, comme possédant un marteau-pilon du poids de 3 500 kilogrammes produisant, avec des perfectionnements notables, les pièces de grosse forge, telles que les arbres de machines pour bateaux à vapeur.

Ces considérations engagèrent le Comité, dans sa séance du 10 juillet 1848, à proposer au Ministre de la Guerre de confier à MM. Petin et Gaudet la fabrication de sept bouches à feu en fer forgé. Les Rapports de la Commission chargée d'en suivre les épreuves ont prouvé que les espérances conçues à leur sujet ne se sont pas réalisées, tandis que les doutes sur la réussite exprimés, d'après les essais antérieurs, se sont vérifiés.

Les résultats les plus importants des épreuves de 1849 et 1850 peuvent se résumer comme il suit :

1°. Les bouches à feu en fer forgé, fabriquées par MM. Petin et Gaudet, sont sujettes à des éclatements qui se produisent quelquefois, sans qu'aucun indice intérieur ou extérieur fasse soupçonner que la pièce est arrivée à sa limite de résistance.

2°. Il existe dans ces bouches à feu des défauts de soudure qui se manifestent par des fentes longitudinales, souvent même avant les épreuves; ces défauts s'aggravent par l'action du tir et sont la cause principale des éclatements.

3°. Le métal de la pièce est altéré par le travail à la grosse forge et ne présente plus la même apparence que les mises qui ont servi à former les paquets. Il s'altère en outre par l'action du tir, surtout dans les parties qui forment le pourtour de la charge et du projectile. Les fers qui ont subi ces deux genres d'altération, étant étirés et travaillés à la petite forge, reprennent tous les caractères d'un fer de qualité supérieure.

4°. Il se produit autour du logement du teton du grain de lumière, un vide assez considérable pour conserver les débris enflammés de la gargousse ; il se forme aussi dans le même logement, des déchirements de métal qui peuvent affaiblir la résistance de la bouche à feu.

5°. Les logements des projectiles ont été très-faibles ; il n'y a pas eu de trace de battements, et le tir a conservé une bonne justesse.

6°. La différence de poids, qui existe entre les pièces en fer forgé et les pièces en bronze, construites avec les mêmes dimensions, n'a eu aucune influence fâcheuse sur la résistance des affûts, non plus que sur celle des plates-formes.

Il reste maintenant à rechercher les conséquences qu'il est possible de tirer des résultats qui viennent d'être résumés.

Pour que le fer forgé fût préféré, soit au bronze, soit à la fonte de fer, dans la fabrication des bouches à feu, il faudrait qu'il pût satisfaire aux deux conditions suivantes :

1°. Donner une résistance égale à celle du bronze et supérieure à celle de la fonte ;

2°. Conserver la régularité de l'âme et la justesse du tir, comme la fonte et mieux que le bronze.

Les épreuves exécutées à Strasbourg ont prouvé que les bouches à feu de Rive-de-Gier, comme celles du Creusot, avaient bien satisfait à la deuxième condition ; il y a eu absence complète de battements ; on a trouvé de faibles logements et une justesse de tir égale au commencement et à la fin des expériences, dans le canon qui a le mieux résisté (le n° 3).

Quant à la première condition, qui n'avait pas été remplie par les canons forgés au Creusot, elle ne l'a pas été davantage par les bouches à feu de Rive-de-Gier. Sur sept pièces soumises aux épreuves, deux canons de 24 et un mortier de 27 centimètres ont éclaté ; les autres bouches à

feu étaient fortement dégradées. Ainsi la sécurité n'existe pas; et, cette qualité si essentielle faisant encore défaut, on ne peut songer à adopter aujourd'hui les bouches à feu en fer forgé.

Mais on doit dire que les éclatements, ainsi que la plupart des dégradations survenues après le tir, sont dus à des défauts de soudure et peuvent, par conséquent, être attribués à une fabrication qui n'est pas encore arrivée à un degré de perfection suffisant. Déjà le canon de 24, n° 3, qui était fabriqué par un procédé différent, a donné des résultats moins mauvais. L'obusier de M. Tréadwel paraissait aussi exempt de défauts de soudure. On peut donc espérer que les progrès que pourra faire encore l'art de forger le fer permettront d'obtenir peut-être des bouches à feu bien soudées.

Toutefois cette difficulté du soudage ne sera pas la seule à vaincre. On a vu que l'effet du tir et l'action des gaz produisaient dans l'âme, surtout au pourtour de la charge, une certaine altération du métal, et qu'en outre il se formait assez rapidement un vide autour du logement du teton du grain de lumière. Ces dégradations, bien que n'ayant pas entraîné la rupture des pièces, sont néanmoins extrêmement graves. Dans l'obusier de M. Tréadwel, il est vrai, l'âme paraissait intacte; mais cet obusier a été soumis à un tir beaucoup moins prolongé et moins énergique que les bouches à feu de Rive-de-Gier, et encore sa lumière, qui n'avait pas reçu de grain, présentait, après huit cents coups, un évasement allant jusqu'à 11 millimètres.

Il ne serait pas impossible que l'altération du métal par le tir fût la conséquence de celle qui existe antérieurement et qui est due au travail de la grosse forge, c'est-à-dire aux fortes chaudes exigées par le soudage, dont le résultat est souvent de brûler le fer. Si l'on parvenait à obtenir, dans les parties voisines de l'âme, un grain plus homogène, plus

fin et plus serré, l'action des gaz serait peut-être moins destructive. C'est donc encore une question de savoir si l'altération du métal par le tir est inhérente à la nature du fer, ou si elle tient aux imperfections de la fabrication ; et l'on doit réserver l'avenir sur ce point comme sur la possibilité d'arriver à un sondage plus complet (*).

Canon obusier de 12, proposé par le prince Louis-Napoléon, *Président de la République française.*

M. le capitaine d'artillerie Favé (**) a présenté, en décembre 1849, au Ministre de la Guerre, un ouvrage imprimé, intitulé : *Nouveau Système d'artillerie de campagne*, par Louis-Napoléon Bonaparte, Président de la République; une dépêche ministérielle du 12 janvier 1850 a invité le Comité à examiner ce projet et à préciser la nature et l'étendue des essais qu'il pourrait être jugé convenable de joindre aux appréciations théoriques.

Le caractère saillant du nouveau système d'artillerie de campagne est la simplicité : les deux canons et les deux obusiers actuels de campagne seraient remplacés par un seul

(*) Le procédé de M. Treadwel (anneaux juxtaposés et soudés par l'action d'une presse hydraulique) n'a été employé pour aucune des bouches à feu en fer fabriquées à Rive-de-Gier, en 1848, par MM. Pelin et Gaudet, qui ont fait forger toutes ces pièces par le procédé des paquets composés *de barres de fer* soudés sous le marteau-pilon. Le canon de 12 et l'obusier de 16 centimètres ont été tirés d'un même paquet. Les deux mortiers ont été tirés d'un autre paquet, et le vide intérieur a été obtenu au moyen d'un poinçon enfoncé sous le marteau-pilon. Mais les deux mortiers ayant été pris sur la hauteur du paquet et non sur la longueur, comme les autres bouches à feu, et cette hauteur s'étant trouvée inférieure à la longueur totale du mortier de 27 centimètres, on fut obligé d'ajouter deux rondelles à chaque mortier, une à la culasse et une à la volée. La rondelle de la volée fut, à l'aide d'un poinçon enfoncé à chaud, percée d'un trou correspondant au vide de l'âme déjà obtenu dans le corps du mortier.

(**) Aujourd'hui chef d'escadron.

canon-obusier, les huit projectiles par trois, et les deux affûts par un seul.

Le canon-obusier proposé est du calibre de 12; il est destiné à tirer des boulets de 12 à la charge de $1^{kil},500$, et des obus de 12 centimètres à la charge de $1^{kil},225$; sa longueur d'âme est celle du canon de 8 ($1^{m},746$); les longueurs extérieures sont également celles du canon de 8, les diamètres seuls sont plus grands; la distance de l'axe des tourillons à l'axe de la bouche à feu est réduite de 9 à 5 millimètres. Le diamètre des tourillons, leur distance au milieu dela plate-bande de culasse, le diamètre et l'écartement des embases sont les mêmes que dans le canon de 8, de façon que le canon-obusier peut être placé sur l'affût de 8 actuel. Le poids est de 659 kilogrammes; la prépondérance de la culasse de 59 kilogrammes. L'inclinaison de la ligne de mire est exactement la même que dans le canon de 8.

On a pensé qu'il y avait lieu de faire éprouver le canon-obusier de 12, sous le triple rapport de l'étendue des portées, de la justesse du tir et de la résistance des affûts, et qu'il était utile d'en ordonner l'examèn dans plusieurs écoles d'artillerie.

En conséquence, sur l'avis du Comité, le Ministre de la Guerre a prescrit: 1° qu'il soit fabriqué huit canons-obusiers de 12 du système proposé; 2° qu'il soit fait, dans chacun des polygones de Vincennes, Metz, Strasbourg et Toulouse, des expériences comparatives entre deux canons-obusiers de 12 et les bouches à feu de campagne en usage (une de chaque espèce), tant au point de vue de la résistance des affûts que sous le rapport des portées et de la justesse du tir. Ces épreuves ont eu lieu en 1850, conformément à un programme approuvé à la date du 1er juillet de cette même année.

D'après le compte qui a été rendu par les quatre écoles, des expériences de 1850, le Comité a jugé utile de provo-

quer un complément d'épreuves. Un nouveau programme a été envoyé par le Ministre aux mêmes écoles, pour être mis à exécution en 1851. On fera connaître ultérieurement les résultats de ces importantes expériences(*).

Moulage en sable des pièces en bronze.

Des épreuves comparatives sont en cours d'exécution, aux écoles de Strasbourg et de Metz, avec deux canons de 24 en bronze, trois canons de 8, et deux mortiers de 15 centimètres, coulés à la fonderie de Strasbourg par le moulage en sable, et pareil nombre de bouches à feu de même espèce provenant du moulage en terre.

Ces expériences ont pour but de rechercher si le moulage en sable ne nuit pas à la qualité du bronze et à sa résistance dans le tir. On n'a reconnu, jusqu'ici, aucune

(*) Une batterie de six canons-obusiers de 12 a été en outre complétement organisée à Vincennes, et y est soumise à des expériences comparatives avec les batteries de campagne actuelles, tant au point de vue de la mobilité que sous le rapport du chargement des coffres et du transport des munitions.

La même école a été chargée de faire des expériences sur des canons-obusiers de 12, allégés de 30 et de 60 kilogrammes, et sur un canon de 8 foré au calibre de 12, pour éprouver le tir de ces bouches à feu, leur résistance et celle des affûts de 8. On y fait aussi des expériences sur deux canons de 6 forés au calibre de 8 et montés sur des affûts particuliers fabriqués au Dépôt central.

Enfin, il vient d'être organisé dans chacune des onze écoles d'artillerie, une batterie composée de deux canons-obusiers de 12, allégés de 60 kilogrammes, du dernier modèle, et de quatre canons de 8, forés au calibre de 121 millimètres. Ces batteries sont destinées à participer au service courant des régiments et des écoles, qui auront à transmettre les observations auxquelles l'emploi de ce matériel pourra donner lieu. Pour apprécier les valeurs absolues et relatives des deux nouvelles bouches à feu, on fera dans chaque école des expériences spéciales suivant les indications d'un programme approuvé par le Ministre le 10 juillet 1852. L'école de la Fère exécutera en outre des épreuves supplémentaires dont le but est de permettre de juger comparativement les effets des bouches à feu aux grandes distances, dans toute l'étendue et jusqu'à la limite de la course des projectiles.

différence entre les effets produits par le tir sur les pièces provenant de l'un ou de l'autre moulage. Les expériences seront continuées suivant le programme arrêté en 1849, jusqu'à ce que les pièces soient hors de service.

Conservation des projectiles.

L'emploi du colthar pour la conservation des projectiles continue à donner de bons résultats. La nécessité de dérouiller préalablement les projectiles a conduit à employer divers appareils pour faciliter cette opération.

Le nº VI du *Mémorial* mentionnait le nouveau mode de dérouillage proposé par M. le lieutenant Harot, alors sergent à la 5ᵉ compagnie d'ouvriers. La construction et l'essai de cet appareil furent autorisés : il a été constaté qu'il présentait un avantage marqué sur tous ceux en usage, sous les rapports de l'emploi, de la durée, du prix de revient, etc.

En conséquence, sur la proposition du Comité, le Ministre a décidé, le 15 décembre 1844, que, dans les établissements où il existait un manége pour mettre en mouvement le tonneau en bois servant à dérouiller les projectiles, ce tonneau serait remplacé, dès qu'il ne pourrait plus servir, par la grille cylindrique du lieutenant Harot.

Quant aux établissements dépourvus de manéges, une décision ministérielle du 16 mars 1845 autorisa la construction d'un tonneau-rouleau, à grille cylindrique, et mû au moyen d'un avant-train, en disposant les deux fonds de la grille, de manière à former deux couronnes qui la tiennent élevée au-dessus du sol. Les résultats obtenus à Vincennes, dans les essais de cet appareil, ont été favorables; mais ils ont fait ressortir quelques inconvénients dans les détails de la construction, et principalement dans le poids de la machine.

Tout en invitant à améliorer la construction et l'emploi de la grille roulante essayée à Vincennes, le Ministre l'a adoptée en principe pour les grandes places où l'on peut disposer de chevaux d'artillerie, mais seulement lorsque les appareils actuellement en usage devront être renouvelés, et que la quantité de projectiles à dérouiller sera assez considérable pour motiver cette dépense.

Enfin, pour le service des places de moindre importance, le Ministre a autorisé la construction d'une machine dite *plateau Duplaquet,* plus simple, moins chère, mais aussi d'un effet moindre que la grille roulante.

On fait aussi, depuis 1847, des expériences, tant sur le zincage que sur le plombage des projectiles (*).

Boîtes à balles.

L'adoption de l'obusier de place, de 22 centimètres, nécessitait celle d'une boîte à balles particulière pour cette bouche à feu ; comme, d'un autre côté, les projectiles de la marine, pour le tir à balles du canon de 30 long et de l'obusier de côte, de 22 centimètres, n'avaient été que provisoirement admis, lorsqu'on affecta ces deux bouches à feu à l'armement des côtes, un supplément aux Tables a été établi pour les boîtes à balles de ces trois pièces, et a été approuvé sous la date du 17 juin 1848. Ce supplément comprend, en outre, une quatrième boîte pour l'obusier de siége, dont l'usage a semblé utile dans quelques circonstances exceptionnelles, qui se sont présentées en Algérie. Cette boîte ne devra jamais dépasser le poids de 22 kilogrammes.

(*) Les résultats d'une expérience de cinq années viennent de faire reconnaître : 1° qu'il n'y a pas de suite à donner au plombage des projectiles; 2° que, dans l'état actuel de l'industrie du zincage, ce mode de préservation appliqué aux projectiles et aux ferrures, entraînerait trop de difficultés et n'offrirait pas assez d'avantages pour être adopté par l'artillerie.

Les deux boites à balles des obusiers de côte et de place sont semblables, sauf le sabot dont la longueur apparente est de 115 millimètres pour la première de ces bouches à feu, et de 140 millimètres pour la seconde.

Il n'a pas été créé de nouveau numéro de balles pour ces boites; la balle n° 2 a été employée dans chacune d'elles. La confection est, à peu de chose près, semblable à celle des boîtes à balles destinées aux bouches à feu de campagne; seulement, comme les nouvelles boites doivent être tirées avec de fortes charges, on leur a donné une enveloppe en tôle épaisse, fixée par des rivets.

Par suite des améliorations apportées à la fabrication des balles en fonte, et en vue de réaliser une économie dans les dépenses, tout en introduisant une simplification dans les approvisionnements, le Comité a proposé et le Ministre a adopté, le 2 décembre 1848, que les balles en fonte seraient employées pour le tir des pièces de campagne comme pour celui des pièces de siége et de place; que les balles en fer forgé, n°s 4 *bis* et 5 *bis*, seraient supprimées; que la balle en fer, n° 6 *bis*, serait seule conservée pour le tir de l'obusier de montagne.

Les Tables de 1831, dont le texte était incomplet et dont la planche devait recevoir quelques corrections, par suite de changements introduits dans les détails de la confection, ont été refaites. Le supplément du 17 juin 1848 a été refondu dans le nouveau texte, qui réunit actuellement les boites à balles de tous calibres. Ces dernières Tables ont été approuvées le 4 mars 1849 (*).

(*) Sur l'avis du Comité, le Ministre de la Guerre a décidé, le 2 février 1852, que le chargement des boites à balles des obusiers de campagne serait réduit, pour chacune de ces bouches à feu, de cinq à quatre couches de balles. En conséquence, la boite de l'obusier de 16 centimètres ne contient plus que 48 balles au lieu de 60, et celle de l'obusier de 15 centimètres, 56 balles au lieu de 70.

IV. — MATÉRIEL. — PONTS. — HARNAIS.

Affûts de siége, affûts de campagne et caissons.

Divers changements ont eu lieu successivement dans les affûts de siége et dans quelques voitures de campagne.

M. le capitaine Chatelain, commandant la 4e compagnie d'ouvriers, ayant signalé l'utilité qu'il y aurait à faciliter l'écoulement de l'eau qui séjourne sur la flèche, devant le coussinet des affûts de siége, on a séparé la flèche et le coussinet par deux plaques en fer, et l'on a formé en outre un dégorgement sous le coussinet, entre ces deux plaques.

A la suite de recherches faites dans les arsenaux, sur les causes auxquelles on devait attribuer les fréquentes dégradations des écrous de vis de pointage, les modèles de ces écrous, dans les affûts de siége et de campagne, ont été modifiés pour les constructions nouvelles, de manière à renforcer la partie de devant.

L'adoption du crochet à chevillette porte-tire-bourre, de la virole de hampe d'écouvillon et des plaques de hampe de tire-bourre, qui étaient en essai au moment de l'impression du nº VI du *Mémorial*, a complété, pour les affûts de campagne, les corrections dont on s'occupait, concernant la conservation des armements.

L'équarrissage de la flèche dans les affûts de campagne, pour la résistance desquels on avait conçu des craintes, a été augmenté de 15 millimètres en hauteur et de 22 millimètres en largeur. Quelques modifications ont été opérées, en conséquence, sur les rondelles d'assemblage, sur la plaque à pitons, ainsi que sur les anneaux de pointage.

L'anneau, formé au bout de devant des bandes d'essieu et dans lequel sont enfermés les crochets porte-écouvillons, a été remplacé par un crochet ouvert en dessous, pour faci-



liter le démontage des crochets porte-écouvillons. La rosette crochet porte-levier a été renforcée à la naissance du crochet, où elle était sujette à plier.

On a fait également des modifications à l'avant-train de campagne et à l'arrière-train du caisson. Elles consistent principalement, 1° à faire la fourchette de l'avant-train de deux pièces; 2° à arrondir le dessus des marche-pieds et à remplacer les tasseaux en bois par des supports en fer; 3° à renforcer les rosettes de dessus des arrêtoirs de coffre et à les fixer par des rivets, au lieu de clous ordinaires, etc.

Des Tables et dessins lithographiés, sous diverses dates, ont précisé ces changements. Ceux de ces documents qui concernent les affûts de campagne ont été compris dans la nouvelle édition des Tables de l'artillerie de campagne (*).

Affûts de place.

L'uniformité qui avait été adoptée pour les dimensions des tourillons et de leurs embases, dans les trois bouches à feu en fonte affectées à l'armement des places (obusier de 22 centimètres, canons de 24 et de 16), permit de n'avoir qu'un seul modèle d'affût pour ces trois nouvelles pièces. Il n'y eut, pour compléter les dispositions à cet égard, qu'à disposer la vis de pointage, de manière qu'elle pût passer aisément de la position qui convient à la longueur des canons, à la position correspondant à la longueur de l'obusier.

D'un autre côté, l'obusier de côte, qui avait été compris dans l'armement de Paris avant l'adoption de l'obusier de place, exigeait un affût spécial, à cause de la différence de ses dimensions avec celles des autres pièces.

Les deux nouveaux affûts furent établis suivant le système

(*) A la suite de quelques ruptures de timons, des essais sur l'avant-train de campagne a limonière viennent d'être repris à l'école de Vincennes.

des affûts de place existant déjà et reçurent les mêmes roues, ferrures, etc., que ces derniers; seulement, pour l'affût d'obusier de côte, la vis de pointage et son écrou furent plus forts, et l'on dut adopter un essieu plus long. Cet essieu prit le n° 5 dans la série des essieux en fer.

L'emploi du grand châssis des canons en bronze a pu sans changement s'étendre aux canons en fonte; mais, ce châssis manquant de force et de longueur pour les obusiers, deux grands châssis particuliers ont été faits pour ceux-ci.

Ces deux grands châssis sont semblables, sauf seulement que celui de l'obusier de côte a 150 millimètres de plus de largeur. L'équarrissage des bois y est plus fort que dans le châssis des canons, et l'entretoise du milieu se trouve en outre soutenue par une échantignole, en regard de laquelle la plate-forme est pourvue d'un plateau.

D'après cette addition, le système complet des affûts de place devait comprendre, ainsi que l'indiquent les Tables de construction du 22 mai 1847, cinq modèles d'affûts, trois modèles de grands châssis, et un seul modèle de petit châssis.

Mais, après l'adoption définitive de l'obusier de place, on reconnut que cette bouche à feu pouvait satisfaire à tous les besoins de l'armement de Paris, et pour plus de simplicité, on abandonna le projet d'y employer l'obusier de côte.

Par suite de ces dispositions, les affûts actuellement affectés à l'armement des places, sont au nombre de quatre, savoir :

Un affût commun à l'obusier de place et aux deux canons de 24 et de 16, en fonte (désigné simplement sous la dénomination d'affût d'obusier de place);

Un affût de 24 pour canon de 24, en bronze;

Un affût de 16 pour canon de 16, en bronze;

Et un affût de 12 pour canon de 12, en bronze.

Les grands châssis sont au nombre de deux :

Un grand châssis d'obusier de place.
Et un grand châssis pour canons en fonte et en bronze.
Enfin un seul petit châssis commun à tous les affûts.

La plate-forme de l'obusier de place diffère de celle des canons en ce que, d'abord, les madriers de la voie circulaire sont plus longs, et qu'ensuite elle comprend un plateau se plaçant en regard de l'échantignole de l'entretoise du milieu.

Affûts de côte en fonte de fer.

L'essai de l'affût de côte en fonte de fer, construit d'après les projets de M. le chef d'escadron Pourchet (*), et mentionné au n° VI du *Mémorial,* page 675, a été continué en 1846, à Vincennes, comparativement avec différents affûts présentés par M. le colonel Thiéry (**).

A cette époque, on devait reprendre, sous l'influence de la gelée, le tir que la température de l'hiver précédent n'avait pas permis d'achever. Ce tir a eu lieu d'abord par 4 degrés et ensuite par 13 degrés de froid, sous l'angle de 12 degrés d'élévation. Il s'est effectué sans autre accident qu'un éclat de fonte enlevé à la bordure d'un trou de boulon.

Jusque-là, les affûts en essai avaient tiré moyennement soixante-cinq coups chacun, dont les deux tiers environ sous l'angle de 12 degrés d'élévation.

Une nouvelle série d'épreuves fut alors entreprise sur deux de ces affûts, non-seulement pour les soumettre à un tir comparatif plus prolongé, mais encore pour constater leur résistance sur des plates-formes en pierre.

L'affût de M. Thiéry était de construction nouvelle; les

(*) Aujourd'hui colonel.
(**) Aujourd'hui général de brigade.

pièces en fonte, particulièrement celles du châssis, avaient de plus fortes dimensions que dans les affûts précédents.

Un des affûts de M. Pourchet, pris parmi ceux qui avaient tiré jusque-là, avait reçu quelques modifications : l'entretoise de crosse, qui était en fonte, avait été remplacée par une entretoise en fer forgé; tous les cuirs avaient été retirés des assemblages, etc.

Les deux affûts montés sur des plates-formes en pierre ont tiré chacun trois cents coups avec l'obusier de côte, et deux cents coups avec le canon de 30, à la charge de $3^{kil},500$ pour la première de ces bouches à feu, et de 5 kilogrammes pour la seconde, et sous l'angle de 12 degrés d'élévation.

Ces affûts, sauf de légers accidents de part et d'autre, avaient également bien résisté, mais la plate-forme de l'affût de M. Thiéry était en meilleur état de conservation.

L'examen comparatif des deux affûts, en ce qui concerne le tir, fut terminé par ces épreuves.

L'avantage restait au modèle de M. Thiéry, comme plus conservateur de la plate-forme. La composition purement métallique de cet affût et les grandes masses de métal qui étaient employées à sa construction, donnaient, sans trop augmenter la dépense, plus de garanties de bonne conservation que l'affût de M. Pourchet, où l'emploi de parties en bois introduisait un élément qui n'était pas en rapport de durée avec les autres parties.

Par ces motifs, la Commission d'épreuve proposa l'adoption en principe de l'affût de M. Thiéry, avec quelques modifications. Six nouveaux affûts de ce système furent construits et donnèrent lieu à des épreuves complémentaires.

On constata d'abord la possibilité d'opérer le montage, sans distinction de pièces d'un affût à l'autre, ainsi qu'on l'avait fait, en 1843, pour les affûts de M. Pourchet.

L'un de ces affûts fut ensuite soumis à un tir de deux cents coups, dont cent avec l'obusier de côte, de 22 centi-

mètres, et cent avec le canon de 30. La plate-forme en maçonnerie ne souffrit nullement.

Après ces épreuves, exécutées seulement à Vincennes, le système parut avoir donné les garanties désirables de solidité.

Les manœuvres pour l'exécution de la bouche à feu s'opèrent sur cet affût avec la même facilité qu'avec les affûts de place et de côte, moyennant l'usage d'un levier à galet, appliqué à l'entretoise de crosse.

L'affût et le grand châssis de côte se démontant de toutes pièces, sans autre instrument particulier qu'une simple clef à écrou, les poids peuvent être divisés autant qu'on le jugera nécessaire pour la facilité du transport; et, en ne montant les affûts que sur place, l'armement des batteries s'opère sans difficulté.

L'affût de côte du modèle présenté par M. le colonel Thiéry fut adopté par le Ministre, et renvoyé au Dépôt central. Les Tables de construction y furent établies, et le modèle proposé reçut en même temps diverses modifications.

Les Tables de construction et les dessins de l'affût de côte ont été lithographiés et approuvés, sous la date du 3 septembre 1847.

Le Ministre a approuvé, le 30 mai 1848, les dessins et les Tables de construction des plates-formes à construire, soit en pierre, soit en bois, selon le cas, pour l'affût de côte en fonte de fer.

Affûts de côte en bois.

(Adoptés sous le titre d'*affûts de place employés à l'armement des côtes.*)

En 1848, on reconnut l'urgence d'armer les côtes, non-seulement avec des affûts en fer, mais encore avec des affûts en bois qui pouvaient être prêts plus tôt que les premiers.

Les deux nouveaux modèles d'affûts de place fournirent le

moyen de satisfaire immédiatement à ce besoin. L'affût d'obusier de place put être affecté au service du canon de 30, et l'affût qui avait été établi pour l'obusier de côte, trouva de même son application à l'armement des côtes. L'essieu de ce dernier affût fut adapté à l'affût de 30, afin de mettre ces deux affûts à la même voie, et de n'avoir dans l'armement des côtes qu'un seul modèle de grand châssis et de plate-forme, pour les affûts en bois.

Par mesure d'économie et en vue d'une plus prompte exécution de construction, les deux affûts reçurent des rouleaux en fonte, au lieu de roues comme dans les affûts de place, la vis de pointage y fut remplacée par un coin de mire avec coussinet, et l'on n'y appliqua ni lunette de cheville ouvrière, ni tenons de manœuvre.

Le grand châssis de l'obusier de côte, mentionné plus haut à l'article des *affûts de place*, fut affecté au service des deux affûts de côte en bois, ainsi que le petit châssis des affûts de place.

Par suite de cette mesure, il existe aujourd'hui pour l'armement des côtes, savoir :

Un affût en fonte de fer, commun au canon de 30 et à l'obusier de côte, ainsi qu'il est dit ci-dessus;

Un affût de 30, en bois, à rouleaux, coin de mire, etc.;

Un affût d'obusier de côte, en bois, à rouleaux, coin de mire, etc.;

Un grand châssis en fer avec sellette et croisillon pour l'affût en fer;

Un grand châssis en bois pour les deux affûts en bois; et enfin le petit châssis de place pour ces mêmes affûts.

Les bois de la voie circulaire de la plate-forme de l'affût en fer sont de mêmes dimensions que pour les affûts des canons de place; et les bois de la plate-forme des affûts en bois sont de mêmes dimensions que pour l'affût de l'obusier de place.

Grand châssis en chêne et sapin.

Au moment de commencer la construction des grands châssis d'affûts de place et de côte, à la fin de 1848, les arsenaux n'avaient pas encore pu s'approvisionner en bois de chêne débité pour cet usage; et il y avait lieu de craindre qu'en livrant cette construction à l'industrie, elle n'eût elle-même des difficultés à se procurer cette essence.

Dans cette prévision, on établit, au Dépôt central, un modèle de châssis dont les côtés et la directrice sont en bois de sapin et recouverts de semelles en chêne.

Les Tables de construction de ce châssis ont été lithographiées, sous la date du 13 mai 1848, et envoyées aux arsenaux.

Caissons suspendus.

La question de la suspension des coffres à munition est soumise depuis quelques années aux recherches des officiers d'artillerie (*).

Parmi les divers projets de suspension qui ont été présentés, trois propositions ont plus particulièrement fixé l'attention et ont donné lieu à des essais.

Dans l'un de ces projets, les coffres étaient placés sur un tablier, élevé au-dessus des brancards et suspendu sans ressorts, à l'aide de mains en fer, à des bouts de chaine fixés sous les brancards.

Dans un autre, la suspension des coffres était établie au moyen de quatre ressorts de voiture, appliqués à l'aide de diverses ferrures, à un caisson du modèle actuel, sans qu'il fût rien changé aux dispositions de la construction des trains.

Dans le troisième projet, les brancards et les armons

(*) N° VI du *Mémorial*, pages 658 et 659.

étaient détachés des essieux et suspendus, au moyen de deux ressorts, à l'arrière-train, et au moyen d'un seul ressort, à l'avant-train.

Le premier projet a été présenté par M. le colonel Lefebvre, et le second par M. le capitaine Azéma; ces deux officiers en ont respectivement dirigé l'application dans les arsenaux de la Fère et de Douai, sur deux caissons mis en essai. Le troisième caisson a été construit au Dépôt central.

Ces trois caissons, chargés de cartouches d'infanterie, ont été essayés à Vincennes, comparativement entre eux, et avec deux caissons ordinaires, dont un à coffres matelassés. Ces voitures ont été soumises à un parcours de 240 kilomètres, dont 73 au trot, sur des routes pavées.

Après vérification détaillée des munitions, à la fin de cet essai, les pertes ont été estimées par la Commission d'épreuve :

Pour le caisson ordinaire non matelassé, à	3,00 p. 100,
Pour le caisson à coffres matelassés, à...	1,75 p. 100,
Pour le caisson de la Fère, à..........	1,50 p. 100,
Pour les deux caissons de Douai et du Dépôt central, à........................	0,25 p. 100;

l'état de conservation des munitions, dans ce dernier caisson, paraissait le plus satisfaisant.

Le système de suspension sans ressorts n'a résisté qu'avec peine et seulement au moyen de diverses réparations; à la fin des épreuves, la voiture se trouvait hors d'état de continuer la marche. Les ressorts, ainsi que leurs accessoires, dans les deux autres systèmes, ont paru présenter toute la solidité désirable.

Le modèle de la Fère a dû être abandonné, d'abord comme manquant de solidité, et, en outre, comme devant augmenter de 200 francs les frais de construction, et de 187 kilogrammes le poids du caisson, sans donner de résul-

tats sensiblement supérieurs à ceux qu'on obtient de la simple matelassure.

L'application du système de Douai aux constructions neuves, comme aux caissons existants, coûterait environ 439 francs par caisson, et augmenterait de 250 kilogrammes le poids de la voiture.

Le modèle du Dépôt central augmenterait le prix de construction d'environ 340 francs, et le poids du caisson de 110 kilogrammes.

L'élévation des coffres, avec ce système, reste sensiblement la même que dans le modèle actuel, tandis que, dans le caisson de Douai, on a dû les élever successivement jusqu'à 8 centimètres au-dessus des brancards, ce qui est encore insuffisant pour que les parties suspendues ne touchent pas sur les parties fixes, dans la marche.

Des résultats de ces épreuves, on a conclu :

Que la suspension n'est applicable au matériel existant qu'à des conditions de dépense hors de proportion avec les avantages à en recueillir;

Que les expériences à continuer en temps opportun devraient être uniquement dirigées en vue du matériel à construire.

Mais l'étude de cette question a été de nouveau ajournée, attendu que les bons effets de la matelassure ont été plusieurs fois constatés pour la conservation des cartouches d'infanterie.

Enrayage des voitures d'artillerie, au moyen du sabot comparé à la chaîne.

Des plaintes s'étant produites sur la trop prompte usure des cercles de roues, dans l'enrayage au moyen d'une chaîne, la question de l'emploi des sabots a été remise à l'étude. Des essais ont été, en conséquence, ordonnés à l'armée

des Alpes, en 1849, sur des sabots dont les dessins avaient été envoyés du Dépôt central.

Les expériences ont eu lieu en vingt-cinq journées dans les Alpes, d'après un programme proposé par le Comité. On y a employé quatre voitures de siége, trois chariots de parc et quinze voitures de campagne. L'enrayage avec la chaîne a été appliqué à un chariot porte-corps, à un chariot de parc et à quatre voitures de campagne ; l'enrayage avec le sabot, aux autres voitures. Tout ce matériel était chargé comme pour entrer en campagne.

Après dix jours de marche, la rupture fréquente de l'enrayure en cordage a fait abandonner, comme dangereux, l'enrayage avec la chaîne pour le chariot porte-corps ; et, après treize jours, on a dû également cesser ce mode d'enrayage pour le chariot de parc, à cause de l'usure trop rapide des cercles de roues. Les quatre voitures de campagne ont conservé jusqu'à la fin des épreuves la chaîne d'enrayage.

Avec la chaîne d'enrayage, il y a danger à pousser l'usure des cercles, en un ou plusieurs points, à plus de la moitié de l'épaisseur du fer. Ce mode d'enrayage dégrade les jantes et les rais, et nécessite des réparations.

Avec le sabot, l'enrayage et le désenrayage, en marchant, s'opèrent sans difficulté, et, sous ce rapport, le système ne laisse rien à désirer, surtout pour les voitures de campagne. On peut diminuer le nombre des semelles à remplacer, en donnant aux sabots la forme plate, et, au besoin, en augmentant l'épaisseur des semelles. Si on les faisait en fonte, elles n'offriraient pas assez de sécurité.

Dans toutes les circonstances de la marche, les sabots présentent la fixité désirable, et ne causent aucune dégradation aux voitures. On a reconnu, à Vincennes, que les ferrures de suspension du sabot des affûts de campagne résistent suffisamment dans le tir.

A la suite de ces différentes épreuves, le Comité a proposé d'adopter, dans les constructions des voitures de campagne, en remplacement de la chaîne d'enrayage, un sabot modifié d'après les expériences de l'armée des Alpes. Cette proposition a été approuvée par le Ministre, le 18 juin 1850, et le tracé du sabot adopté a été joint aux nouvelles Tables de l'artillerie de campagne.

La Commission de l'armée des Alpes avait demandé l'enrayage par un frein pour les voitures de l'artillerie de siége; mais les appareils proposés jusqu'à ce jour ont paru trop compliqués. De nouvelles études ont été entreprises pour remplacer dans ces voitures la chaîne d'enrayage.

Artillerie de montagne.

Par suite de l'expérience acquise dans le service de l'artillerie en Algérie, de nouvelles améliorations ont été introduites dans le matériel de montagne.

Les changements opérés dans l'affût et la limonière portent principalement sur les parties qui sont mises en jeu dans le charriage, dont on a fait en Afrique un usage très-fréquent. Le but principal de ces changements a été de renforcer les parties faibles, et de mieux assurer la réunion de l'affût et de la limonière.

A l'affût, le bout de crosse, qui était sujet à s'écarter du bec, a été réuni à la plaque de crosse, de manière à ne former qu'une seule pièce, comme dans les affûts de campagne. Les esses d'essieu, contre lesquelles frottaient les moyeux de roues, ont été préservées par l'adoption de rondelles de bouts d'essieu. Les moyeux qui n'avaient pas reçu de cordon, dans la pensée de l'emploi exclusif de l'orme tortillard, en ont été pourvus.

A la limonière, la bande de support qui se faussait, ou se cassait, a été renforcée, et l'on a allongé ses arrêtoirs

pour les empêcher de se dégager de l'arrêtoir de limonière adapté à l'affût; on l'a, de plus, fixée par des boulons, au lieu de clous rivés, pour en faciliter le démontage. La cheville de limonière, dans laquelle s'engageait la poignée du bout de crosse, a été élargie, et l'on a ajouté sur l'entretoise de limonière, une chaînette à crochet servant à accrocher la chaînette de la cheville pour empêcher celle-ci de sortir pendant la marche. Enfin, les bras de limonière ont été garnis chacun, au bout de devant, d'un crochet pour l'attelage du mulet de devant, et ils ont été renforcés, de ce côté, par une bandelette de tôle, roulée en spirale, et s'étendant des anneaux à pattes jusqu'au delà des crampons d'attelage.

On se servait autrefois du bât des Alpes et de celui des Pyrénées; dans chacun, on distinguait les bâts pour caisses à munitions, tirés du commerce, et dont l'arçon était irrégulier, et les bâts pour affût, dont l'arçon était uniforme et spécialement approprié au chargement du matériel de montagne. Ces arçons avaient été remplacés (*) par un modèle d'arçon unique pour tous les bâts.

On s'aperçut bientôt que l'arçon uniforme, c'est-à-dire dont la forme extérieure est spécialement appropriée au chargement de l'affût ou de l'obusier, était fort incommode pour le chargement des fourrages ou d'autres fardeaux.

L'artillerie de l'armée d'Afrique proposa de rétablir une distinction entre les arçons des bâts pour affût et ceux des bâts pour caisses; elle présenta à ce sujet, ainsi que sur divers changements à faire au harnachement des mulets, un travail qui, après avoir reçu quelques modifications au Dépôt central, a été approuvé par le Ministre, sur la proposition du Comité. De nouvelles Tables de construction des bâts et du harnachement des mulets ont, en conséquence, été litho-

(*) N° V du *Mémorial*, page 41.

graphiées, sous la date du 21 juillet 1845. D'après ces Tables, le harnachement des mulets comprend : un collier (substitué au licol), un bridon, un bât pour affût et un bât pour caisses.

Les bâts du modèle 1840, qui se trouvaient en magasin, ont été modifiés pour être ramenés, autant que possible, aux deux modèles ci-dessus indiqués, d'après une instruction qui a été arrêtée par le Comité, et approuvée par le Ministre de la Guerre, le 11 septembre 1845.

Marques distinctives à inscrire sur les affûts.

L'introduction de cinq bouches à feu nouvelles dans le matériel d'artillerie (pièces en fonte de fer, de place et de côte) a entraîné quelque complication dans les affûts et les objets accessoires. Pour prévenir les difficultés qui pourraient résulter de cet état de choses, le Ministre a adopté, le 30 juillet 1850, sur l'avis du Comité, des inscriptions propres à faire distinguer entre eux les divers objets. Ces inscriptions ont été rendues obligatoires et régulières par une instruction et un tableau lithographié, dont il a été envoyé des exemplaires dans chaque arsenal et dans chaque place.

Il a été décidé, en outre, qu'à l'avenir la tête du boulon de derrière de l'écrou de vis de pointage serait faite en champignon dans l'affût de campagne de 12, pour qu'on puisse distinguer cet affût de celui de 8, même la nuit, au simple toucher.

Doigtier.

Une modification au doigtier, proposée par le maréchal des logis Maître du 11e régiment d'artillerie, a été adoptée le 10 mars 1850.

Le nouveau doigtier est d'un usage plus commode que l'ancien ; il ne porte qu'une simple ganse dans laquelle le

canonnier introduit la main, et qu'il serre au moyen d'un coulant au lieu des deux lanières qu'il ne pouvait lier seul à son poignet; il se gante avac facilité sur un seul doigt contre lequel les autres restent joints.

Chèvre modèle 1840.

En 1844, quelques doutes s'élevèrent sur la solidité de la chèvre, par suite de la rupture d'un pied, arrivée à Laon pendant une manœuvre.

Une expérience de surcharge sur les chèvres qui se trouvaient dans les arsenaux et dans les polygones, fut aussitôt ordonnée. Cette épreuve consista à soulever deux canons en bronze, de 24, réunis, et à laisser la chèvre ainsi chargée pendant l'espace de six heures.

L'épreuve eut lieu dans dix-sept arsenaux ou polygones, sans qu'aucun pied ou aucune plaque d'assemblage de la tête, dont la solidité avait été mise en doute, vînt à manquer.

Ce résultat parut concluant. Toutefois, quelques mailles de chaîne s'étant cassées à la soudure, ces ruptures donnèrent lieu à des épreuves particulières dont il sera parlé ci-après, et qui s'étendirent à toutes les chaînes en usage dans le matériel.

Le crochet servant à arrêter la chaîne au second épars, mentionné au N° VI du *Mémorial*, page 683, après avoir été essayé dans six écoles d'artillerie, a été définitivement admis, en 1846, au nombre des agrès de la chèvre, sous la dénomination d'*arrêt de chaîne*.

La chèvre laissait encore à désirer pour l'exécution de la manœuvre à haubans. La Commission instituée près du Comité, en 1846, pour la révision des instructions sur les manœuvres d'artillerie, appela l'attention sur deux dispositions de construction qu'il parut nécessaire de modifier. L'une concernait le point d'attache du second brin de la

chaîne à la tête de la chèvre, sur le côté extérieur de la hanche gauche; l'autre était relative à la position des leviers, d'après la division, en huit crans égaux, des crémaillères du treuil.

Il résultait de la première disposition que la hanche gauche et le hauban opposé se trouvaient plus chargés que la hanche droite et le hauban correspondant; et de la seconde, que les crans des crémaillères ne tenaient plus le petit bout des leviers à une hauteur convenable pour l'exécution de la manœuvre, quand la chèvre était dressée pour la manœuvre à haubans.

Ces remarques donnèrent lieu aux modifications suivantes, qui furent adoptées après avoir été expérimentées :

La plaque d'assemblage fut garnie vers le devant, près de la lunette du bout du pied, d'une maille propre à recevoir le crochet du bout de la chaîne, dans les deux cas de la manœuvre, sur le pied ou à haubans. Cette maille remplaça celles que portaient, d'une part, la tête du boulon de poulie, et d'autre part, le bout de pied. Par suite de ce changement, on put alléger les ferrures du haut du pied, en réduisant leurs dimensions en plusieurs points.

Du côté des crémaillères, on s'arrêta, après divers essais, à substituer à la division en huit crans égaux, correspondant respectivement à chaque mortaise d'embarrage, la division en seize crans alternativement inégaux; de telle sorte que le cran de repos dût se prendre sur une grande ou sur une petite dent, selon que la chèvre est équipée sur son pied ou à haubans, et que deux dents dussent passer à chaque embarrage. Ce changement dans les crémaillères obligea de modifier aussi les dents-de-loup.

En adoptant ces modifications seulement pour les constructions neuves, on aurait été conduit à faire une distinction dans le service entre les nouvelles chèvres et les anciennes, attendu qu'un nouveau pied, avec une ancienne chèvre,

n'aurait pas permis d'accrocher le bout du second brin de la chaîne, et qu'en cas de changement du treuil, les dents-de-loup ne se seraient pas ajustées sur les crémaillères.

En conséquence, les corrections ont été étendues aux chèvres existantes, et l'on a refait entièrement les dessins et les Tables de construction de la chèvre.

Chaînes.

La rupture de plusieurs mailles de chaînes de la chèvre, dans l'épreuve mentionnée ci-dessus, ayant été attribuée à des défauts de soudure, on a fait essayer un mode de fabrication des chaînes différent de celui qui est en usage. Cet essai a eu lieu dans tous les arsenaux, sur dix bouts de chaînes de chacun des n°s 1, 2, 3, 4, 5 et 6, dont cinq fabriqués par chacun des deux procédés. Les chaînes des cinq premiers numéros comprenaient quinze mailles; celles du n° 6 (chaînes de chèvre) étaient composées de trente mailles.

Suivant le mode de fabrication en usage, la soudure des mailles est faite à l'un des bouts de chacune d'elles, et dès qu'elle est terminée, la maille s'achève sans avoir à supporter aucun changement de forme propre à éprouver cette soudure. Le procédé, mis en essai comparativement à celui-ci, consistait à souder les mailles en anneaux ronds, auxquels on donnait ensuite la forme allongée, de manière à mettre la soudure vers le milieu de l'un des longs côtés de la maille. Les soudures défectueuses, qui peuvent facilement échapper à l'examen de réception des chaînes, paraissaient devoir être mises à découvert dans cette dernière opération.

Dans tous les arsenaux, le travail a été dirigé de manière à établir la plus grande identité possible entre les chaînes construites par l'un et l'autre procédé, et toutes ces chaînes

ont ensuite été soumises à des épreuves de tension poussées progressivement jusqu'à la rupture.

Le procédé mis à l'essai a donné lieu à une plus grande consommation de temps et de charbon, sans confirmer ce qu'on avait pu en attendre; et, sur l'avis de six Commissions contre deux, le procédé en usage a été maintenu.

Le tableau suivant, dressé d'après les rapports des arsenaux, fait connaître, avec les résultats de ces épreuves, la force de résistance des chaines :

DESIGNATIONS.		CHAINES					
		Nº 1 d'enrayage de siége	Nº 2 d'enrayage de campagne	Nº 3 de timon de siége.	Nº 4 de timon de campagn	Nº 5 de fourragere.	Nº 6 de chèvre
		kil	kil	kil	kil	kil	kil
Poids minimum de rupture. . .	Fabric. en usage.	3455	2265	1619	1200	1136	4580
	Fabric. mise à l'essai.	3086	2300	1619	1250	1219	3050
Poids maximum de rupture. . .	Fabric. en usage. . .	9710	7533	5400	4100	3100	9618
	Fabric. mise à l'essai.	9710	6666	5400	4000	3100	10067
Poids moyens de rupture pris sur l'ensemble des resultats obtenus dans tous les arsenaux. . .	Fabric. en usage. .	6447	4006	3324	2057	2032	7549
	Fabric. mise a l'essai.	6105	4036	2803	2168	1777	6375

Outils à pionniers.

D'après diverses propositions, et par suite d'essais faits dans les polygones de Douai, Strasbourg et Toulouse, quelques modifications ont été introduites dans la construction des outils à pionniers.

La longueur de la pelle ronde a été réduite de 30 millimètres, et l'on a en même temps augmenté la cavité de cette

pelle. Ces deux changements ont eu pour objet, tout en renforçant l'outil, de diminuer la fatigue du travailleur et de faciliter la projection des terres.

La forme ronde, dans le manche de la pioche et dans celui du pic à roc, a été remplacé par la forme ovale, pour le double but de rendre l'outil plus facile à manier, en l'empêchant de tourner dans la main, et de renforcer le fer près de l'œil, où il casse le plus souvent.

Cette modification a été étendue au manche de la masse.

Présentement, les outils à pionniers sont du même modèle que ceux du génie. Des Tables, en date du 3 juillet 1850, ont été arrêtées à ce sujet.

Ponts de campagne.

On a vu, dans le nº VI du *Mémorial*, que les essais faits par la Commission permanente des ponts à Strasbourg, sur les chevalets de l'équipage de pont adopté par l'Autriche en 1841, avaient donné des résultats assez favorables pour motiver des expériences plus complètes sur l'ensemble du système. En conséquence, le Comité proposa de faire construire à Strasbourg, la totalité du matériel qui constitue l'équipage autrichien proprement dit (huit becs et sept corps de pontons, huit chevalets et tous les objets accessoires); ce qui fut exécuté.

Le programme arrêté par le Comité comprenait plusieurs séries d'expériences ayant pour but de constater si le matériel autrichien remplissait convenablement les conditions essentielles auxquelles les équipages de campagne doivent satisfaire, dans les circonstances difficiles de la guerre, et de faire connaître avec précision sa valeur absolue et sa valeur comparative, relativement à l'équipage français.

Des expériences faites sur le grand Rhin et sur le petit Rhin furent défavorables à l'ensemble du système autrichien et d'une manière tellement décisive, que la Commission ne

poussa pas jusqu'au bout la série des épreuves indiquées par le programme. Toutefois, elle déclara qu'elle adopterait le chevalet autrichien si l'on pouvait l'employer avec le matériel de nos équipages.

A la suite de cette appréciation du système autrichien, le moment parut favorable pour examiner certaines modifications dont l'équipage français semble susceptible, et qui pourraient avoir pour conséquence :

1°. Un perfectionnement de l'équipage de réserve, sous le rapport de la légèreté et de la mobilité;

2°. L'introduction du chevalet autrichien dans cet équipage, avec ou sans modifications;

3°. Peut-être même la fusion des deux équipages de réserve et d'avant-garde en un équipage unique, assez mobile pour suivre tous les mouvements des troupes, et cependant assez solide pour donner passage à tous les fardeaux qui accompagnent les armées.

Le Ministre de la Guerre décida qu'il ne serait pas donné suite aux essais sur l'ensemble du système autrichien, mais que l'on rechercherait exclusivement les perfectionnements du chevalet, et que, ce point résolu, on s'occuperait plus tard, s'il y avait lieu, des modifications à introduire dans l'équipage français.

La Commission de Strasbourg arrêta d'abord la construction d'un chevalet à quatre pieds mobiles, glissant dans des coulisses en fer.

Ce chevalet, qui jouissait d'une stabilité propre, fut soumis à des épreuves; il ne réalisa pas tous les avantages qu'on s'en était promis.

D'autres chevalets furent essayés sans plus de succès.

Dans ces circonstances, le Ministre appela l'attention du Comité sur des modifications présentées déjà à plusieurs reprises, comme ne portant aucune atteinte aux propriétés essentielles de l'équipage de réserve; elles devaient avoir

pour résultat une diminution de poids de 20 000 kilogrammes (pour un équipage de 30 bateaux), ce qui permettrait de retrancher quelques haquets et chariots de parc, de répartir le chargement d'une manière moins inégale et plus commode, et de donner à toutes les voitures une mobilité peu différente de celle de la pièce de 8.

Le 10 juillet 1848, la Commission de Strasbourg reçut l'ordre de diriger ses recherches dans cette voie, en se proposant pour but de ramener à un seul équipage les deux équipages actuellement existants.

La Commission, voulant s'entourer des lumières des hommes spéciaux, pour la solution de ce difficile problème, fit un appel au zèle de tous les officiers du corps, et reçut, en effet, plusieurs communications intéressantes.

Après une longue suite de tâtonnements et de recherches, on a préparé le programme des changements qu'on propose d'introduire dans l'équipage de réserve, sans altérer les qualités précieuses qu'on lui reconnaît à si juste titre. Ces modifications ont pour objet de donner à l'équipage une mobilité plus grande et une constitution plus élastique, afin qu'il puisse suffire seul à toutes les éventualités de la guerre, et former, en se décomposant, des équipages partiels, complets, d'une importance variable et proportionnée à la largeur des cours d'eau sur lesquels ils devront être employés. Ces résultats seraient obtenus par les moyens suivants :

1°. Modification du matériel en service;

2°. Remplacement du chevalet à chapeau mobile;

3°. Organisation nouvelle de l'équipage.

Règlement sur le harnachement.

Le Ministre de la Guerre a renvoyé, en 1846, à l'examen du Comité un projet de *Règlement sur le harnachement des chevaux d'artillerie*, présenté par M. Deschamps, capi-

taine d'habillement au 10[e] d'artillerie (*), qui avait entrepris de résumer, sous ce titre, les diverses décisions ministérielles éparses dans le *Journal militaire*.

Un examen préalable de ce travail fit reconnaître que l'idée sur laquelle il reposait était bonne et applicable, mais qu'elle n'avait pas reçu tout le développement désirable, et qu'il serait utile de la compléter en posant des règles certaines pour des cas non prévus par les instructions, et qui avaient donné lieu à des interprétations différentes.

Afin de faire cesser ces irrégularités, le Comité soumit, le 12 mai 1846, au Ministre de la Guerre, les moyens qu'il jugeait les plus propres à éclairer la question et à préparer la rédaction d'un règlement embrassant tout ce qui concerne le harnachement livré aux troupes d'artillerie. Ces propositions ayant été approuvées, un exemplaire du projet de M. Deschamps fut adressé, le 27 juillet 1846, à chacun des conseils d'administration des corps d'artillerie, avec invitation de signaler toutes les modifications ou additions dont ils jugeraient ce projet susceptible.

Les Rapports envoyés par les régiments n'ayant pas fourni tous les éclaircissements nécessaires, une circulaire fut adressée, le 22 juin 1847, aux chefs de corps, et spécifia les divers points sur lesquels des explications étaient particulièrement demandées. Les réponses faites par les conseils d'administration, réunies à leurs Rapports antérieurs et à tous les documents qu'on a pu recueillir sur la matière, ont servi de base à la rédaction d'un projet de règlement accompagné de notes explicatives sur chacun de ses articles.

Quelques dispositions nouvelles proposées par les corps ont été admises; d'autres ont été repoussées, par la raison

(*) Maintenant lieutenant-colonel.

qu'on ne peut pas tout réglementer, et qu'il est des circonstances où l'on doit laisser une certaine latitude, soit aux chefs de corps, soit aux conseils d'administration, sous leur responsabilité.

La plupart des articles reposent sur des décisions ministérielles, ou sur des usages adoptés depuis assez longtemps pour que les avantages en aient été parfaitement constatés. On s'est fait aussi un devoir d'écarter toute mesure n'ayant pas reçu l'adhésion presque unanime des conseils d'administration.

Le nouveau Règlement, approuvé par le Ministre, le 9 avril 1848, et auquel doit être annexé le tarif du 28 octobre 1847, qui en forme le complément nécessaire, embrasse tout ce qui concerne le service du harnachement dans les corps, et l'on a lieu d'espérer qu'il introduira la régularité désirable dans cette partie importante de l'administration.

Tarif du harnachement.

Le dernier tarif du harnachement, qui remonte au 21 mars 1832, présentait de nombreuses lacunes et n'était plus en harmonie avec la composition actuelle du matériel, qui a reçu, depuis cette époque, de notables améliorations.

Une révision était donc devenue nécessaire, et le Comité posa les bases de ce travail, en adressant aux régiments d'artillerie et aux escadrons du train des parcs une nomenclature en deux parties : la première comprenant l'énumération de tous les objets de harnachement dans l'ordre suivi par l'Aide-Mémoire de 1844; la seconde indiquant toutes les réparations dont ces objets sont susceptibles.

Des Commissions instituées dans chaque corps devaient remplir la colonne des prix, laissée en blanc, et faire connaître les motifs de leurs évaluations, la valeur des matières

premières achetées sur place, et la provenance de celles qu'on ne peut se procurer sur les lieux.

Les projets de tarifs, ainsi établis sur une base uniforme, présentaient des résultats facilement comparables et des différences peu importantes dans les évaluations. Les documents joints aux projets démontrèrent que, dans les différentes villes de garnison, les matières premières avaient à peu près la même valeur, d'où l'on conclut qu'il était possible de fondre ces éléments dans un tarif unique et applicable sans inconvénient sur tous les points du territoire.

Le 12 mai 1846, le Comité proposa d'adresser à tous les corps d'artillerie le projet de tarif, en les invitant à faire connaître les objections que pouvait soulever son application. L'exactitude des évaluations proposées ayant été reconnue, le nouveau tarif fut définitivement adopté par décision ministérielle du 28 octobre 1847.

Résultat d'une étude de plusieurs années, poursuivie dans les meilleures conditions, ce tarif paraît offrir toutes les garanties d'exactitude désirables et concilier tout à la fois les intérêts de l'État, de la troupe et des maîtres-selliers.

Couverture du cheval sous-verge.

La décision ministérielle, en vertu de laquelle les chevaux sous-verges doivent être pourvus d'une couverture aussi bien que les porteurs, n'avait point assigné la place de cet effet dans le paquetage de route. Les régiments d'artillerie et les escadrons du train des parcs, consultés en 1847 et 1848, ont été divisés d'opinion à ce sujet.

Les uns ont proposé de rouler cette couverture et de la fixer sur le collier ou sur le mantelet; d'autres, de la poser à plat sous la selle, réunie à la couverture du porteur, ou de l'appliquer sur le siége et sous la schabraque. On a adopté

la proposition faite par quatorze corps sur vingt, de la placer sous le mantelet.

La couverture est ainsi portée par le cheval auquel elle est destinée et ne lui cause aucune gêne; elle est maintenue naturellement par les parties du harnais qui la recouvrent et fixée par le surfaix de sangle; elle est assez en évidence pour que, en cas d'oubli, son absence puisse être remarquée; et cependant elle ne présente à l'œil rien de choquant.

Quant à la manière de plier la couverture, la forme rectangulaire, à douze épaisseurs, a été jugée la plus favorable. On avait cru d'abord à la nécessité de la protéger par une petite schabraque. Essayée par des batteries de l'armée des Alpes, cette précaution a été repoussée comme superflue, occasionnant une dépense et ajoutant un effet de plus au bagage du canonnier.

Le mode de ploiement de la couverture du cheval sous-verge, un peu modifié et mis en essai dans les corps de l'artillerie, en 1849, a été l'objet d'une instruction ministérielle, en date du 18 juin 1850.

Sangle en cuir substituée à la sangle en fil.

Les corps de l'artillerie ont été consultés, lors de l'inspection générale de 1849, pour savoir s'il y avait convenance à substituer la sangle en cuir dont la cavalerie se sert, à la sangle en fil en usage dans l'artillerie.

Sur treize corps, dix ont été favorables à l'adoption de la sangle en cuir, plus solide, d'un entretien plus facile et coûtant un peu moins cher que la sangle en fil.

En adoptant le principe de la substitution de la sangle en cuir à celle en fil, il a été décidé que cette substitution ne se ferait qu'au fur et à mesure de la mise hors de service des sangles en fil existantes.

Des modifications au tarif du harnachement et aux Tables de construction, ainsi qu'une instruction pour disposer la



selle à recevoir la sangle en cuir, ont été rédigées en conséquence de cette décision.

Schabraques noires.

(Peaux de moutons de Corse.)

Des expériences comparatives sur les schabraques en peaux blanches et des schabraques en peaux de mouton noires de Corse ont été commencées, en 1844, dans les corps d'artillerie. On a reconnu la supériorité de la schabraque noire qui présente, sur la schabraque blanche, l'avantage d'une durée beaucoup plus longue, sans exiger les mêmes soins pour sa conservation et son entretien.

D'un autre côté, on s'est assuré, par des informations prises sur les lieux, que la Corse est assez riche en moutons noirs pour subvenir au remplacement des schabraques consommées annuellement dans les régiments d'artillerie, tant sur le pied de paix que sur le pied de guerre.

Toutefois, avant de prendre une décision, il a été jugé convenable d'attendre le résultat des expériences entreprises sur l'emploi de la demi-schabraque.

Demi-schabraque. — A propos des épreuves dont il vient d'être question, on a été conduit à examiner si la schabraque complète, qui est indispensable avec la selle hongroise, ne pourrait pas être remplacée avantageusement avec la selle d'artillerie, par une demi-schabraque recouvrant le chargement de devant. Un premier essai fait à Vincennes, dans le 6e régiment d'artillerie, sur une demi-schabraque en peau noire, a donné des résultats satisfaisants. Le Ministre a décidé, le 20 décembre 1848, que ces expériences seraient continuées dans tous les corps d'artillerie; mais leur exécution a été ajournée en raison des nouvelles propositions faites sur cet objet, par la Commission supérieure char-

gée de déterminer les modifications à introduire dans le harnachement de la cavalerie.

Schabraque avec portière de pistolet. — A la suite d'une proposition faite par le général commandant en chef l'armée des Alpes, le Comité fut invité à présenter un modèle-type de schabraque à portière et à en établir le devis, ainsi que celui de la dépense à faire pour la transformation des schabraques en service.

En examinant la disposition des fontes et des pistolets, l'arrangement du manteau et des autres effets qui se placent sur le devant de la selle, on a reconnu que la portière serait insuffisante pour donner au canonnier la facilité de tirer promptement son pistolet, si l'on conservait le mode de chargement actuel, prescrit par le règlement du 15 juillet 1835 (*Bases de l'Instruction*). Il a donc été nécessaire de faire subir au paquetage plusieurs modifications qui sont l'objet d'une instruction spéciale.

Le modèle-type de la schabraque à portière, les devis et l'instruction spéciale, présentés par le Comité, ont été approuvés en principe, le 20 décembre 1848, par le Ministre de la Guerre; mais jusqu'ici, l'exécution de cette mesure a été ajournée.

Schabraque teinte en noir.

MM. Durand et Boutrais ont découvert et proposé, en 1850, un procédé pour teindre en noir les peaux de moutons blanches.

Une proposition semblable avait été faite par M. Becker, il y a quelques années. Les peaux qu'il a présentées furent mises en essai en 1834, après avoir supporté sans altération l'épreuve des acides, des alcalis et de l'eau bouillante; de nouveaux échantillons furent soumis, en 1835, à des épreuves plus rigoureuses encore qui donnèrent des résultats satisfaisants. En-

fin, cinquante schabraques furent livrées à chaque régiment d'artillerie, pour être mises en service pendant trois ans; au bout de ce temps, un grand nombre se trouvaient déjà hors de service, et douze régiments sur quatorze en proposaient le rejet.

En principe, la schabraque teinte en noir ne saurait être adoptée, tant qu'on n'aura pas un moyen certain de reconnaître à priori si la teinture est solide et si elle n'a pas altéré la laine et la péau.

Porte-fers mobile.

Un ordre ministériel du 9 août 1846 avait institué des Commissions dans les quatorze régiments d'artillerie, pour la mise en expérience d'un porte-fers mobile, pouvant recevoir les fers et les clous destinés à une ferrure complète.

Ce porte-fers, composé d'une paire de sacoches réunies par une large courroie formant chapelet, devait s'adapter indistinctement au harnais du sous-verge et à celui du porteur.

Les essais ont eu lieu dans chaque régiment, sur douze porte-fers répartis moitié sur des chevaux montés et moitié sur des sous-verges, qui ont parcouru 400 à 450 kilomètres, dont un tiers au trot. Il a été constaté par cette expérience, que le porte-fers blesse souvent les chevaux, dérange le paquetage et ne remplit qu'imparfaitement le but auquel il est destiné.

Le Comité a donc été d'avis de ne pas pousser plus loin ces épreuves; mais il a demandé que l'attention des régiments fût appelée sur la nécessité de rechercher un moyen de porter les fers, tel que la ferrure de rechange accompagne toujours le cheval pour lequel elle est préparée.

Ouvriers d'État selliers.

Afin d'assurer la conservation des effets de harnachement dans les directions d'artillerie, le Ministre de la Guerre a créé, sur l'avis du Comité, cinq emplois d'ouvriers d'État selliers, comptant parmi les employés de cette classe, attachés aux établissements d'artillerie. Cette création d'emplois nouveaux s'est ainsi faite, sans augmentation de cadre, en réduisant de cinq le nombre des ouvriers d'État des autres professions.

La conservation des harnais ne saurait être assurée convenablement que dans de vastes magasins soumis à de minutieuses précautions et à une active surveillance, conditions qui ne se rencontrent point dans les petites places. C'est donc seulement dans les grands établissements d'artillerie qu'il convient de placer des dépôts considérables de harnachements, en attachant à chacun d'eux un ouvrier d'État sellier. Les cinq places de Toulouse, Lyon, Metz, Strasbourg et Vincennes ont paru très-favorablement situées pour cette destination.

D'après une décision ministérielle du 23 août 1848, les ouvriers d'État selliers sont choisis parmi les brigadiers selliers des régiments d'artillerie et des escadrons du train des parcs, ayant au moins six années de service.

V. — ARMES PORTATIVES.

Carabine à tige. — Fusil d'infanterie rayé et à tige.

La carabine dite de munition, puis la carabine à percussion modèle 1842, qui formaient l'armement des chasseurs à pied, produisaient déjà des résultats assez remarquables. Mais l'idée du forcement de la balle à l'aide de la tige amena des progrès nouveaux et inattendus qui aboutirent à la carabine à tige, tirant la balle oblongue.

En 1846, le modèle de cette carabine fut arrêté par le Ministre, sur l'avis du Comité de l'artillerie. Les dix bataillons de chasseurs en furent immédiatement armés.

La facilité de transformation des fusils ordinaires en armes à tige et à parois rayées, avait déjà fait appliquer les perfectionnements de la carabine à un certain nombre de fusils d'infanterie et aux mousquetons d'artillerie.

Les premières expériences de tir avec un petit nombre de ces nouveaux fusils, ayant donné des résultats de nature à faire entrevoir la possibilité d'augmenter considérablement l'efficacité des feux de l'infanterie, la question d'une modification générale dans l'armement des troupes a été soulevée en 1849. Mais un changement aussi important, qui se lie d'ailleurs à d'autres considérations d'une haute portée, ne peut être assez étudié. Aussi de nouvelles expériences, sur une plus grande échelle, ont été entreprises dans quatre régiments d'infanterie, sur des fusils convertis au système à tige, comparativement avec le fusil ordinaire.

Ces expériences ont été faites en 1849; les rapports étaient déjà transmis par les corps lorsque la balle à culot fut proposée, et toute solution définitive se trouva ainsi ajournée.

Fusil d'infanterie rayé, sans tige, et balle ogivale à culot.

M. le capitaine d'infanterie Minié (*) a proposé de substituer à la balle oblongue, une balle à culot se forçant par la seule action des gaz de la poudre.

La charge serait de 5 grammes, au lieu de 4 grammes et demi. La nouvelle balle, avec le culot, pèserait 52 grammes, au lieu de 47. Elle permettrait de supprimer la tige et les accessoires spéciaux des armes rayées, et de conserver la baguette ordinaire d'infanterie ainsi que le nécessaire d'armes.

(*) Maintenant chef de bataillon.

Ce nouveau système offrirait une grande économie de fabrication, surtout si l'on voulait transformer les fusils ordinaires pour les approprier au tir à balle forcée.

La balle à culot a la forme d'un cylindre terminé à sa partie antérieure par un demi-ellipsoïde tronqué. La partie cylindrique est creusée, suivant l'axe, d'un trou conique; sa surface extérieure porte trois cannelures semblables à celles des balles oblongues. Le culot, en tôle, est placé dans l'évidement de la balle; il est conique, de manière à ne pouvoir y pénétrer que de sa hauteur, à moins d'un effort violent.

A côté des avantages de ce système, semblent se placer déjà quelques inconvénients; complication de la cartouche et des moules à balles; fabrication spéciale des culots; difficulté de transporter les balles à cause des déformations possibles de la partie évidée; rupture de quelques balles dans le canon, la partie cannelée y restant parfois engagée avec tant de force, qu'on ne peut la retirer qu'en déculassant.

Les premières expériences, faites à Vincennes et dans les autres écoles de tir, montrent que la balle à culot aurait peut-être quelque supériorité sur la balle oblongue, sous les rapports de la portée et de la justesse, supériorité qui augmenterait avec la distance. La pénétration est à peu près la même pour les deux balles.

Quatre régiments d'infanterie ont été chargés, en 1850, des essais à faire sur l'emploi de la balle à culot; les cartouches ont été confectionnées à Vincennes et expédiées ensuite à chaque régiment. Deux capitaines d'artillerie ont été attachés à chaque Commission d'épreuve.

Les Commissions doivent constater, comme justesse et comme portée, les effets des fusils rayés tirant la balle à culot, en se rapprochant, autant que possible, de la pratique de la guerre. Ces effets seront étudiés comparativement avec ceux du fusil ordinaire; car, dans chacun des



quatre régiments chargés de cette expérimentation, un bataillon conservant l'armement actuel concourt simultanément aux mêmes essais et dans les mêmes circonstances.

Les résultats des épreuves sur la balle à culot seront comparés à ceux qui ont été obtenus avec les fusils rayés, à tige, tirant la balle oblongue, et avec les fusils ordinaires à canon lisse tirant la balle sphérique.

Dans cette comparaison, on tiendra compte, non-seulement des effets réels des armes à feu sur un champ de bataille, mais aussi des divers obstacles que l'on rencontre pour la confection, le renouvellement et le transport des approvisionnements en munitions, surtout quand ces munitions deviennent plus pesantes et plus volumineuses.

Mousqueton d'artillerie transformé au système à tige.

Lors de la publication du n° VI du *Mémorial*, le mousqueton d'artillerie modèle 1829, transformé au système à percussion et garni d'une baïonnette d'infanterie, venait d'être adopté pour l'armement des troupes à pied de l'artillerie; mais les expériences sur les armes à tige et les essais pour appliquer ce système aux armes déjà fabriquées, faisaient entrevoir la possibilité d'améliorer beaucoup le tir, si incertain et si faible, du mousqueton d'artillerie modèle 1829, en modifiant cette arme au système à tige. Des expériences furent entreprises pour atteindre ce but. On essaya aussi l'emploi du sabre-baïonnette, en remplacement du sabre de troupes à pied, afin d'arriver, s'il était possible, à la suppression de la baïonnette d'infanterie qui, avec son fourreau, apportait une complication dans l'armement et l'équipement du canonnier à pied.

Ces essais, exécutés dans trois écoles d'artillerie, ont pleinement justifié les résultats d'une première expérience, faite à l'école de tir de Vincennes, sur la puissance de

justesse et de portée que le système à tige fait acquérir au mousqueton d'artillerie, en rendant son tir supérieur à celui du fusil d'infanterie. D'un autre côté, la substitution, dans l'armement du canonnier à pied, du sabre-baïonnette au sabre de troupes à pied, n'a donné lieu à aucune objection. En conséquence, le mousqueton d'artillerie modèle 1829, transformé à percussion, modifié au système à tige et muni d'un sabre-baïonnette, a été adopté, pour l'armement des troupes à pied de l'artillerie, par une décision ministérielle du 19 avril 1846.

Mousqueton d'artillerie, à tige, neuf.

Il restait à établir un modèle du mousqueton d'artillerie à tige, neuf. Conformément à un ordre ministériel, en date du 22 juin 1848, le Comité a fait confectionner ce modèle. On s'est attaché à remédier aux défauts reprochés au mousqueton transformé.

On a adopté les pentes et la couche du mousqueton de gendarmerie, ce qui permettra au canonnier de mettre plus facilement en joue, d'épauler plus aisément et de mieux supporter les effets du recul.

Le fût a été prolongé de manière à envelopper le canon et à le soutenir jusque près du tenon. Cette disposition, tout en augmentant la solidité de l'arme, donne le moyen d'avoir une baguette suffisamment lourde pour rendre le forcement régulier, et laisse la facilité de percer en ligne droite le canal de baguette.

La platine est celle du mousqueton de gendarmerie modèle 1842. Le calibre est celui du mousqueton actuel ($17^{mm},6$).

Les épaisseurs du canon ont été augmentées, afin de présenter une résistance suffisante, non-seulement à l'action de la poudre, mais encore aux chocs extérieurs.



L'accroissement de poids (800 à 900 grammes), qui résulte des nouvelles proportions, aura l'avantage d'établir une relation plus convenable entre le poids du projectile et celui de l'arme, de manière à rendre le recul moins incommode.

Cinquante mousquetons, fabriqués d'après le nouveau type, ont été mis en essai dans le 10ᵉ régiment d'artillerie. Ces épreuves auront pour résultat de faire bien apprécier l'emploi de l'arme, et permettront de régler la graduation des hausses, par suite des expériences du tir.

Mousqueton de cavalerie.

Les expériences sur cent cinquante mousquetons de cavalerie transformés et modifiés, dont il est fait mention dans le dernier numéro du *Mémorial* (page 700), ayant déterminé le rejet de ce projet de modification, les mousquetons de cavalerie modèle 1822 ont été, sur la demande d'une Commission mixte, simplement transformés au système percutant; alésés au calibre de $17^{mm},8$, et délivrés ainsi aux régiments de cavalerie.

Quant à un modèle neuf de mousqueton de cavalerie, la question de son établissement définitif est restée réservée, d'après l'avis du Comité de la cavalerie.

Fusil double modèle 1850.

En 1840, on avait adopté, pour l'armement du bataillon de voltigeurs corses, un fusil à percussion à deux coups et disposé de manière à recevoir une baïonnette à l'extrémité de son double canon. L'emploi de cette arme, ayant été étendu aux légions de gendarmerie des départements de l'ouest, fit ressortir certains défauts qui tenaient à l'irrégularité des confections. La fabrication du fusil des voltigeurs corses, étant assimilée à celle des armes de chasse,

rendait difficiles les réparations et l'emploi des pièces de rechange que fournissait la manufacture de Saint-Étienne.

On chercha à remédier à ces inconvénients en rédigeant des Tables de construction déterminant avec précision les proportions et dimensions de toutes les parties de l'arme. On donna au nouveau fusil la dénomination de *fusil double modèle* 1850, et l'on supprima celle de fusil de voltigeurs corses, parce que le corps qui portait ce nom n'existe plus.

La longueur des canons est de 795 millimètres, et celle de la baïonnette de 280 millimètres.

Les culasses ont été disposées de manière à recevoir les cheminées de guerre, ce qui introduit une grande simplification dans la fabrication.

Les platines se rapprochent, autant que possible, de celles des armes de guerre, et permettent l'emploi des instruments de démontage mis à la disposition des soldats.

L'arme ne pèse que 250 grammes de plus que le fusil d'infanterie. En raison de la destination spéciale de ce fusil double, on a mis en couleur les canons et les autres pièces fixées sur le bois. Cette couleur peut être facilement renouvelée lorsqu'elle a subi quelque altération.

Pistolet de marine.

La marine se plaignait depuis longtemps de son pistolet modèle 1837, modèle qui avait été adopté sans aucune intervention de l'artillerie.

Un nouveau modèle de pistolet, beaucoup mieux combiné et remplissant toutes les conditions réclamées par la marine, a été établi au Dépôt central et accepté par le Ministre de la Marine. On a, en outre, indiqué les modifications, faciles à exécuter dans les ports, qu'il y aurait lieu de faire subir aux pistolets modèle 1837, pour faire disparaître une grande partie de leurs défauts. Ces dispositions

ont également reçu l'approbation du Ministre de la Marine.

Fusil d'infanterie avec hausse mobile.

Des expériences furent exécutées, en 1846, dans trois régiments d'infanterie, sur cent cinquante fusils à hausse mobile à charnière adaptée sur la queue de la culasse; on voulait avoir la facilité de viser jusqu'à 400 mètres. Ces expériences ont démontré qu'à cette distance, le tir ne pouvait avoir assez d'efficacité pour compenser la complication qui résulterait de l'addition d'une hausse mobile. L'emploi de cette hausse avait obligé de porter la lumière de 4 millimètres plus à droite de l'axe du canon, et de diminuer les dimensions de la tête du chien, de manière à démasquer complétement la ligne de mire.

Le projet a été, en conséquence, abandonné.

Bois de fusil.

La question du cintrage des bois de fusil à la vapeur a perdu une grande partie de son importance, depuis qu'il a été reconnu que la pente actuelle du fusil devait être conservée.

En effet, le procédé de débiter les bois droits et de leur donner ensuite la pente en les imprégnant de vapeur, n'eût présenté une utilité réelle qu'autant qu'il eût été avantageux d'augmenter la pente du fusil; autrement, les embarras et la dépense qu'entraînerait nécessairement un procédé quelconque de cintrage, ne pourraient guère être compensés par l'économie, d'ailleurs douteuse, que procurerait le débit droit des bois.

Toutefois, la question présentait plus d'importance en ce qui concerne la monture du pistolet; il est évident, en raison de la courbure de la poignée de cette arme, que le bois

aurait une plus grande solidité s'il était débité droit, puis cintré à la vapeur. Des essais ont été ordonnés à la manufacture de Tulle, pour s'assurer s'il ne serait pas possible de profiter du lessivage à la vapeur pour effectuer le cintrage.

La première série de ces expériences avait fait remarquer l'inutilité de pousser plus loin les recherches, quant aux bois de fusil, et la possibilité d'appliquer ce procédé aux bois de pistolet, mais en acceptant une proportion assez forte de rebuts. De nouvelles expériences ayant été prescrites, les nombreux rebuts qui ont continué à se produire sur les bois de pistolet, soumis au cintrage à la vapeur, ont fait penser qu'il n'y avait plus à tenter d'essais sur ce procédé.

Baïonnette nouveau modèle et plaque de couche.

Les modifications proposées par M. le colonel de Poncharra, à la baïonnette et à la plaque de couche du fusil d'infanterie, étaient restées à l'état d'essai, dans trois régiments d'infanterie, lors de la publication du dernier numéro du *Mémorial.*

Il est résulté des Rapports des Commissions chargées de suivre ces essais, que la baïonnette modifiée présente, par suite du renforcement du coude, un avantage marqué, en conservant beaucoup mieux sa pente réglementaire, tout en se prêtant à la nécessité de la formation des faisceaux. En conséquence, cette nouvelle baïonnette a été définitivement adoptée pour la fabrication ultérieure; on continue à utiliser dans le service les baïonnettes déjà fabriquées.

Quant à la plaque de couche, l'utilité de la modification proposée n'ayant pas été suffisamment démontrée par les expériences, la proposition a été écartée.

Fourreau de sabre de troupes à pied.

Un nouveau fourreau en cuir, pour sabre de troupes à pied, avec couture sur le côté, non apparente, et dont le

bout a un ajustage beaucoup plus solide que celui de l'ancien fourreau, et est disposé de manière à éviter l'infiltration de l'eau, a été soumis à des essais qui ont complétement réussi. En conséquence, une décision du 23 octobre 1846 a prononcé l'adoption définitive de ce nouveau modèle de fourreau.

Plastrons de cuirasse en acier fondu.

L'acier fondu a été substitué à l'acier corroyé pour la fabrication des lames de sabre (voir le n° VI du *Mémorial*, page 705). En substituant aussi l'acier fondu à l'étoffe d'acier et de fer corroyés dans la fabrication des plastrons de cuirasse, on espérait pouvoir en alléger notablement le poids, tout en leur conservant la résistance qui avait été jugée nécessaire.

Des plastrons de cuirasse, fabriqués avec de l'acier fondu provenant des usines de la Bérardière, furent soumis aux épreuves du tir, en 1846, et résistèrent très-bien, quoique allégés de plus d'un kilogramme; mais de nouveaux essais ont fait ressortir des anomalies dans la résistance. Ces résultats furent attribués à des modifications qui avaient pu être introduites dans les procédés de fabrication de l'acier fondu; on a donc cru devoir s'assurer, avant de se prononcer sur cette question, si les fabricants seraient maîtres de régler leur fabrication de manière à pouvoir livrer de l'acier fondu d'une qualité déterminée, ou bien si la qualité de celui qui, en 1846, a donné les meilleurs résultats, n'était due qu'au hasard.

De nouveaux essais ont été ordonnés à cet effet à Châtellerault.

Tables.

Le plus grand nombre des Tables de construction des armes portatives en service n'existaient que manuscrites, et, par conséquent, en trop peu d'exemplaires pour qu'on pût en

doter tous les établissements où ces documents pouvaient être de quelque utilité; de plus, beaucoup de changements avaient dû y être introduits depuis leur rédaction. Un travail a été entrepris pour la révision et la réimpression des Tables de tous les modèles d'armes portatives, en le complétant par l'addition des Tables des différents accessoires. Ce travail est en cours d'exécution.

Instruments vérificateurs.

Les examens des produits de la fabrication de chaque manufacture d'armes, qui se faisaient à intervalles irréguliers, sont devenus annuels. Ils ont fait reconnaître des défauts ou imperfections de fabrication, qui ont été signalés aussitôt aux manufactures pour mettre ces établissements à même de les éviter à l'avenir.

Afin de leur en faciliter les moyens et d'obtenir, dans la fabrication des nouvelles armes à percussion, toute l'uniformité désirable, des collections d'instruments vérificateurs, établis avec le plus grand soin à l'atelier de précision du Dépôt central, ont été envoyées à chacune des quatre manufactures d'armes.

Meules artificielles.

La profession la plus insalubre, dans les manufactures d'armes, est sans contredit celle d'émouleur ou d'aiguiseur, à cause de la poussière siliceuse qui se détache des meules pendant le travail, et que les poumons absorbent par la respiration.

On avait cherché d'abord à abandonner l'aiguisage à sec, c'est-à-dire à effectuer le travail à meule humide; mais la nécessité d'opérer les retaillages de ces meules, toujours assez fréquents et qui ne peuvent s'exécuter qu'à meule

sèche, laissa les ouvriers sous l'influence d'une poussière qui attaque promptement leur constitution.

A plusieurs reprises, des recherches furent entreprises pour détruire ces effets pernicieux; mais ces tentatives n'avaient obtenu aucun succès, lorsqu'enfin on eut l'idée d'employer dans les manufactures d'armes une nouvelle espèce de meule, dite *meule artificielle*, composée de grès et de gomme laque, et qui donnait des résultats très-satisfaisants dans l'industrie privée.

Un premier essai de meules artificielles eut lieu au Dépôt central, et le résultat fut assez favorable pour décider à entreprendre une expérience plus en grand dans une manufacture; on choisit celle de Châtellerault, parce qu'à cause de sa spécialité de fabrication d'armes blanches, cet établissement emploie plus de meules que les autres.

L'inventeur des nouvelles meules fut, en conséquence, invité à livrer à la manufacture d'armes de Châtellerault, un certain nombre de meules fabriquées aux dimensions qui lui avaient été indiquées par les premières expériences.

Ces meules ayant été trouvées supérieures aux meules naturelles, un marché fut passé avec l'inventeur pour qu'il installât la fabrication des meules artificielles à Châtellerault, et qu'il initiât les officiers et les employés aux procédés de cette fabrication.

Les conditions de ce marché furent exactement remplies, et les premières meules fabriquées sans le concours de l'inventeur furent trouvées d'un très-bon service.

Quelques accidents de rupture de grandes meules artificielles survinrent ensuite et jetèrent l'inquiétude dans l'esprit des ouvriers. Plusieurs enquêtes eurent lieu, et signalèrent la nécessité d'améliorer l'outillage servant à la fabrication des grandes meules; mais, comme ce renouvellement d'outillage devait entraîner une dépense considérable, sans donner une garantie complète d'une bonne

fabrication, et sans espoir de détruire les préventions que les ouvriers manifestaient contre les meules artificielles, on crut devoir y renoncer et revenir à l'aiguisage avec des meules naturelles.

Le Ministre a rendu une décision à cet effet, à la date du 5 août 1849.

Sur la proposition du Comité, un ventilateur aspirant a été établi, en 1850, dans l'usine C' de la manufacture de Châtellerault. Ce nouvel appareil a pour objet d'entrainer extérieurement la poussière produite pendant l'opération dite du *rifflage des meules*. On paraît, jusqu'à présent, satisfait des effets de ce ventilateur dont la réussite intéresse l'avenir de nos manufactures, puisqu'il peut introduire une amélioration notable dans l'état hygiénique des ouvriers aiguiseurs.

Machine à rayer les canons.

Les premières machines à rayer les canons des armes portatives étaient verticales. Le réviseur Fayet, de Saint-Étienne, les a modifiées d'une manière ingénieuse pour en obtenir des rayures progressives en profondeur et très-correctes.

Une nouvelle machine destinée à rayer les canons a été proposée par M. le colonel Burnier, directeur de l'atelier de précision, et installée dans chacune des quatre manufactures. Cette machine est horizontale; elle est fondée sur un nouveau principe qui dispense de l'emploi d'une baguette conductrice préalablement rayée; il suffit de changer une roue pour faire varier à volonté la hauteur du pas de l'hélice. Elle peut être mise en mouvement par un moteur et est disposée pour rayer deux canons à la fois.

Le réviseur Favarcq, à Tulle, a apporté une importante amélioration à cette machine dans la manière de faire les rayures progressives par l'action continue du couteau.

Règles de tir et fixation des charges des armes à feu portatives.

Une Commission spéciale a été chargée, en 1848, d'exécuter des expériences à Vincennes, pour la détermination des règles de tir et des charges de poudre des armes à feu portatives, avec la nouvelle balle sphérique de 16mm,7 (*).

A la suite de ces épreuves, terminées en 1849, on a adopté la charge de 9 grammes de poudre pour le tir du fusil d'infanterie, les trois quarts de cette charge pour le fusil de dragon et le mousqueton de gendarmerie, la moitié pour le mousqueton de cavalerie, et le tiers pour le pistolet de cavalerie; la charge du pistolet de gendarmerie est restée la même (1gr,5), la balle n'ayant subi aucune modification.

Les cartouches avec balle oblongue, pour arme rayée au système à tige, contiennent 4 grammes et demi de poudre.

Cartouches pour armes à canon rayé.

L'adoption de la carabine à tige a conduit à étudier différents modes de cartouches pour balles oblongues, ainsi que le chargement dans les coffres à munitions. En 1844, on essaya la cartouche roulée comme à l'ordinaire dans un trapèze de papier et graissée à sa base. L'excédant du papier au-dessus de la poudre était replié de manière à envelopper la partie graissée. Pour l'empaquetage, on plaçait quatre cartouches et un sachet de cinq capsules dans une boîte en carton, chaque cartouche debout, la partie cylindrique de la balle restant en dehors, appuyée sur les bords de la boîte. Le tout était ensuite enveloppé d'un rectangle de papier, comme un

(*) On a rendu compte des travaux de cette Commission dans le present numéro du *Mémorial*, page 319.

paquet ordinaire de cartouches. Ce système résista très-bien au transport, soit dans les coffres, soit dans les gibernes; mais le tir des cartouches ayant subi l'épreuve du transport, fit reconnaître une légère diminution de portée, due à une quantité très-faible de pulvérin qui s'était formé et logé dans la gorge de la balle, entre le papier et celle-ci.

Depuis, la forme de la balle a reçu de grandes modifications, et, par suite des essais précédents, on dut l'isoler de la poudre dans la cartouche, tout en cherchant à éviter l'emploi de la colle. On proposa alors une cartouche à trois enveloppes, l'une en carton et deux en papier, dont une séparant la balle de la poudre. La cartouche est graissée à sa base, comme dans le mode précédent. Le paquet se compose de six cartouches et d'un sachet de huit capsules, disposés comme dans un paquet ordinaire de cartouches d'infanterie. Ces nouveaux paquets ont parfaitement résisté aux épreuves exécutées à Vincennes et à Metz. Enfin l'École de pyrotechnie, chargée d'étudier cette cartouche, reconnut que sa confection et son paquetage étaient très-bien combinés. Le Comité en a proposé l'adoption au Ministre, qui l'a approuvée le 26 mars 1848.

Cartouches à capsules adhérentes.

Il a été présenté un grand nombre de cartouches avec capsules adhérentes pour remplacer le mode actuel, où la capsule est séparée de la cartouche. Toutes ces propositions, dont quelques-unes sont ingénieuses, ont été repoussées, parce qu'elles compliquent la fabrication, et parce que les essais de 1839 et de 1840 ont prouvé qu'elles étaient loin d'augmenter la vitesse des feux d'infanterie.

Le mode actuel satisfait à toutes les exigences de fabrication, de transport et de distribution. La majorité des Commissions formées en 1839, dans l'infanterie, pour examiner ce moyen l'ont approuvé.

Les Anglais, les Prussiens, les Bavarois, les Suédois et les Russes ont, après des épreuves nombreuses, adopté la cartouche avec capsule séparée; les Autrichiens, seuls, ont encore le système dit *Consolé*, qu'ils paraissent avoir conservé par économie (*).

Papiers pour cartouches d'infanterie.

Divers papiers, proposés pour la confection des cartouches d'infanterie, ont donné lieu, à Vincennes et à l'École de pyrotechnie, à des expériences comparatives, dans lesquelles la supériorité est restée au papier ordinaire. Ces épreuves ont démontré que, pour une bonne confection de cartouches, et pour que la conservation dans les coffres soit assurée, le papier employé devait avoir, non-seulement de la ténacité, mais encore une certaine épaisseur et un bon collage, lui donnant du corps. Des papiers trop minces et trop souples, quoique plus résistants que le papier ordinaire, n'ont pu soutenir la concurrence, soit dans la confection, soit dans le transport.

Quant aux papiers recouverts d'un enduit de caoutchouc, les difficultés qu'ils ont présentées dans la manipulation, jointes à leur prix élevé et à l'inconvénient qu'il y aurait à introduire dans les approvisionnements un papier spécial, les ont fait rejeter du service de l'artillerie.

Transport des cartouches dans les coffres à munitions.

On a vu, dans le n° VI du *Mémorial*, que des expériences avaient été entreprises sur le matelassage des coffres à munitions pour le transport des cartouches d'infanterie.

Les essais comparatifs, exécutés dans les écoles de 1843

(*) *Voir* la description du système Console, page 81

à 1847, firent ressortir, d'une manière incontestable, la supériorité du chargement matelassé avec les paquets placés de champ.

En conséquence, le Comité se prononça en faveur de ce mode de chargement, et en demanda l'adoption au Ministre, qui l'a approuvé le 13 février 1848.

Depuis cette époque, la cartouche à balle de 17 millimètres et charge de 8 grammes, a été remplacée par la cartouche à balle de 16^{mm},7 et charge de 9 grammes, dont le paquet diffère peu de l'ancien. Des essais faits à Vincennes ont prouvé que ce nouveau paquet se trouve, pour le chargement des coffres, dans les mêmes conditions que l'ancien; toutefois le matelassage est un peu moins épais.

Le chargement matelassé de champ a donc été maintenu pour cette nouvelle cartouche à balle sphérique.

Dans les recherches faites à Vincennes, sur le transport dans les coffres de la cartouche à balle oblongue, on n'a pas trouvé d'avaries provenant des différents modes de chargement essayés, bien que, dans aucun, les coffres ne fussent matelassés. Mais, le chargement matelassé assurant d'une manière incontestable la conservation des munitions, on n'a pas cru devoir négliger cette garantie de plus pour une cartouche destinée à une arme de justesse. Le matelassage permet, en outre, de limiter convenablement le poids du caisson, et dispense d'avoir recours à des dispositions intérieures pour réserver des cases vides.

Cette question a été étudiée à l'armée des Alpes et à l'École de pyrotechnie. Les divers modes de chargement proposés, essayés comparativement à Metz, ont conduit à adopter, pour la cartouche à balle oblongue, une disposition matelassée de champ, permettant de porter dans chaque coffre un assez grand nombre de cartouches, sans cependant surcharger le caisson. Ce mode de chargement a été approuvé le 2 décembre 1848.

Le coffre à munitions contient 7 700 cartouches d'infanterie ou 5 760 à balle oblongue, et, par suite, le caisson contient 23 100 cartouches d'infanterie ou 17 280 cartouches à balle oblongue.

Le poids du caisson chargé en cartouches d'infanterie est de 1 980 kilogrammes, et en cartouches à balle oblongue, de 2 090 kilogrammes.

Dispositions de détail.

Indépendamment de ces questions principales, qui ont fait, dans ces derniers temps, et qui font encore l'objet des études de l'artillerie, en ce qui concerne les armes portatives, d'autres dispositions de détail ou l'examen des propositions diverses de beaucoup d'inventeurs, ont donné lieu à un grand nombre de Rapports, de la part du Comité.

Parmi ces dispositions de détail, on pourra citer :

L'adoption d'un monte-ressort spécial pour le fusil double modèle 1850 ;

Le tampon en nerf de bœuf en remplacement du tampon en buffle pour cheminée ;

La fixation du calibre de rebut des armes transformées ;

Plusieurs suppléments aux tarifs des réparations, et enfin la révision complète de tous ces tarifs, et leur réunion en un seul qui a été approuvé le 15 avril 1850.

VI. — TIR DES BOUCHES A FEU.

Pointage des pièces de campagne.

L'historique des essais successifs exécutés jusqu'à la fin de 1844, pour rendre plus facile et plus sûr le pointage des bouches à feu de campagne, est rapporté dans le n° VI du *Mémorial.*

Les deux modèles de hausse, l'un, de Gribeauval, fixé à

la culasse, l'autre séparé de la pièce, furent mis en expérience. Le premier fut conservé. Les résultats obtenus ont constaté l'application facile et sûre de ce mode au pointage des quatre bouches à feu de campagne; mais on n'était pas encore arrêté sur la longueur précise des hausses aux différentes distances dans le tir à boulet, à obus et à balles. Des relevés exacts des hausses employées avec les quatre pièces de campagne pendant le tir des écoles, ont permis d'en adopter définitivement les indications et d'en déduire aussi approximativement que possible, de bonnes hausses moyennes pour chaque distance et pour chaque espèce de tir et de charge. A l'aide de ces renseignements, le Comité a proposé et le Ministre a approuvé, le 26 juin 1847, l'adoption des nouvelles hausses pour les bouches à feu de campagne, avec les dispositions de détail que comporte l'exécution de cette mesure (*).

Les deux modèles de hausse fixe, qui sont de deux longueurs, ne diffèrent que par la graduation, l'une pour le canon de 12 et l'obusier de 16 centimètres, l'autre pour le canon de 8 et l'obusier de 15 centimètres.

Poids à donner aux obus employés dans les écoles de tir.

L'article 66 du règlement du 29 mai 1835, sur le service et l'instruction dans les écoles d'artillerie, porte :

« Les obus seront garnis de fusées et chargés d'une quan-

(*) On reproche aux anciennes hausses d'être sujettes à se déranger, à se fausser, à se perdre même quelquefois; de n'avoir pas une longueur suffisante pour les obusiers, etc.; d'obliger qu'on se souvienne, pour en faire usage, des portées correspondant à chaque division de graduation du curseur. La vis du curseur, rivée sur la branche anterieure de celui-ci, est, de plus, sujette à s'ébranler de ce côté, tandis que, du côté exterieur, le mouvement de l'écrou est quelquefois arrêté par la rivure du bout de la vis avec laquelle il se trouve directement en contact. On a cherché à corriger ces divers défauts dans les nouvelles hausses.

» tité de poudre suffisante pour chasser ces dernières, sans » risquer de faire éclater les projectiles. »

Lorsqu'après l'adoption, pour les obusiers de campagne, d'une hausse semblable à celle des canons, il y eut lieu de fixer d'une manière exacte les hausses pour le tir de ces obusiers, une dépêche ministérielle du 10 mai 1845 prescrivit de ramener le poids des obus employés dans le tir pour la fixation des hausses, au poids qu'ils ont avec leur charge de guerre; en conséquence, on dut mettre dans ces projectiles une quantité convenable de sable en bouchant la lumière avec un tampon en bois.

Après l'adoption des hausses ainsi déterminées (26 juin 1847), le Comité a émis l'avis qu'on doit continuer à ramener les obus employés dans les écoles au poids réglementaire de guerre, parce que le tir dans les polygones doit être aussi semblable que possible à ce qui se pratique à la guerre, et qu'il est important que les hausses soient les mêmes dans les deux cas. Ces considérations s'appliquent naturellement au tir des obusiers de 12 et de 22 centimètres.

Pour amener les projectiles creux au poids de guerre, il a paru convenable de se servir d'un mélange de sable et de sciure de bois, ayant à peu près la densité de la poudre.

On a pensé que l'usage d'une fusée ordinaire, substituée au tampon en bois, habituerait les canonniers à la décoiffer, et faciliterait l'observation du point de chute des obus; mais la charge intérieure de poudre, destinée à simuler l'éclatement du projectile, a paru sans utilité réelle.

Ces propositions ont reçu l'approbation du Ministre, qui, le 11 février 1849, a décidé qu'à l'avenir :

« Dans les exercices du tir des polygones, les obus de 22, » de 16, de 15 et de 12 centimètres seront amenés au poids » de guerre, au moyen d'un mélange de sable et de sciure » de bois, fait de manière que la capacité intérieure soit à

» peu près remplie. Le poids des projectiles sera vérifié
» chaque fois qu'ils devront être employés.

» L'œil des obus sera fermé avec une fusée ordinaire,
» chargée, qui ne sera ni coupée en sifflet ni percée laté-
» ralement, afin d'empêcher la combustion de la sciure de
» bois, et de simplifier le chargement. »

But en blanc des canons de siége.

Les expériences mentionnées dans le n° VI du *Mémorial* sur le canon de 24, de siége, dont le but en blanc avait été ramené à 100 mètres, au moyen d'une masse de mire adaptée au bourrelet, ont été continuées dans les écoles jusqu'en 1846. D'après les résultats moyens d'un tir longtemps répété avec cette pièce, comparativement avec un canon de 24 ordinaire, on a pu arriver à une appréciation relative des deux systèmes, fondée sur les conditions réelles d'utilité pratique particulières à chacun d'eux; et le Comité a été amené à proposer de discontinuer les épreuves à ce sujet, et de conserver le but en blanc actuel des pièces de siége. Le Ministre a approuvé ces propositions le 9 septembre 1847.

Essais de tir avec des affûts de place dans les embrasures de siége et de casemate.

L'étude de quelques dispositions au moyen desquelles les affûts de place pourraient être employés au tir à embrasure de siége, ou de casemate, avait été commencée au Dépôt central, en 1842.

De nouveaux essais ont eu lieu, en 1848 et 1849, dans les écoles d'artillerie. Les dispositions mises en pratique pour ce tir consistent :

1°. A substituer des roulettes aux roues de l'affût, et à modifier la bride du milieu du corps d'essieu, de manière

à la faire servir de guide au devant de l'affût sur la directrice;

2°. A monter l'affût sur un lisoir directeur, servant, en place du grand châssis, à donner la direction à la pièce;

3°. A monter tout le système sur une plate-forme;

4°. Enfin, à remplacer deux des leviers de manœuvre de l'affût de place par deux leviers en fer, pour la manœuvre des roulettes.

L'affût de 12, de place, en particulier, est, en outre, modifié pour servir au tir des pièces de campagne, par les moyens suivants :

1°. L'écrou de vis de pointage est disposé de manière à pouvoir passer, avec la vis, de sa position actuelle à celles qui conviennent respectivement aux canons de 12 et de 8, de campagne.

2°. L'affût est pourvu de sus-bandes.

3°. Enfin, des manchons de tourillons sont employés avec le canon de 8 et l'obusier de 15 centimètres, pour compenser à la fois la différence de diamètre des tourillons et celle de l'écartement des embases des canons de 12 et de 8.

D'après ces dispositions dont les résultats ont paru satisfaisants, on peut tirer, avec les affûts de place, toutes les bouches à feu dans les embrasures de siége et de casemate.

Tir des pièces de campagne avec l'affût de 12, de place, monté sur son grand châssis.

Par suite des dispositions prises à l'égard de l'affût de 12, de place, pour le tir des pièces de campagne, un essai a eu lieu à Vincennes, pour examiner jusqu'à quel point ou dans quelle limite des charges de poudre, le tir des mêmes pièces pourrait avoir lieu au besoin, l'affût étant monté sur son grand châssis. Le tir des pièces de campagne a été exé-

cuté à cet effet, aux charges du quart et du tiers pour les canons, aux petites et aux grandes charges, ainsi qu'à des charges intermédiaires, pour les obusiers.

Le tir des canons à la charge du quart et celui des obusiers de 15 et de 16 centimètres aux petites charges, n'ont donné lieu à aucune remarque; mais, à des charges plus fortes, le tir n'a paru praticable qu'en faisant reposer l'entretoise du milieu du grand châssis sur un appui solide. Sans cet appui, l'affût recule en bondissant avec plus ou moins de violence sur le châssis. Le premier bond est assez élevé pour que les guides de crosse abandonnent la directrice et en dégradent les bords en retombant à leur place. Aux grandes charges des obusiers, le châssis lui-même se soulève jusqu'à se dégager de la cheville ouvrière; à châssis mouillé, les roues vont frapper avec force contre les taquets de derrière, et tout le système semble fortement ébranlé.

En faisant reposer l'entretoise du milieu du châssis sur un plateau solidement établi dans la plate-forme, ces effets ont été sensiblement atténués, et le tir a paru admissible jusqu'à certaines limites des charges qui, d'après les faits observés par la Commission d'épreuve, seraient dans le tir des canons, à boulet et à balles, la charge du tiers; dans celui de l'obusier de 15 centimètres, la charge de 1 kilogramme à obus et de $0^{kil},75$ à balles; dans celui de l'obusier de 16 centimètres, à obus, la charge de $1^{kil},50$ sur châssis sec, de $1^{kil},25$ sur châssis mouillé, et enfin celle de 1 kilogramme seulement pour le tir à balles.

Tir des pièces sur affûts de place au-dessous de l'horizon.

Un renseignement utile, au point de vue de l'emploi des affûts de place dans les fortifications sur un site élevé, a été recueilli, au sujet de l'angle de plongée sous lequel on peut tirer avec les affûts de place, moyennant qu'on dégorge

convenablement l'entretoise de devant, et qu'on supplée au défaut de longueur de la vis de pointage.

Un essai de tir a eu lieu avec le canon de 12, de place, et avec le canon de 24. L'angle de plongée a été porté successivement jusqu'à 30 degrés avec le premier, et jusqu'à 25 degrés avec le second. On a tiré, de part et d'autre, à boulet et à balles, à la charge du tiers, cinq coups sous ces angles. Cet essai a donné lieu de remarquer que les tourillons sont soulevés dans leurs logements, mais qu'ils y rentrent chaque fois avec précision ; le soulèvement va en augmentant avec l'angle de plongée ; sous l'angle le plus abaissé, il a paru être de 5 à 6 centimètres avec le canon de 12, et de 3 à 4 centimètres avec le canon de 24. La secousse résultant du choc de la pièce sur l'affût, au moment où les tourillons retombent au fond de leurs logements, est le seul inconvénient qu'on ait observé dans ce tir. Cette secousse produit un soubresaut du côté de la crosse, mais sans que celle-ci s'élève au point que les guides déboîtent de la directrice. Le devant du grand châssis éprouve un mouvement à peu près semblable sur le petit châssis, qui est fortement ébranlé.

Le Comité, considérant qu'un tir très-abaissé, quand l'occasion s'en présente, se borne toujours à un très-petit nombre de coups, et qu'il n'a guère lieu qu'à la charge du quart, a pensé que les affûts de place peuvent, en toute sécurité, être affectés à l'armement des points qui exigent ce tir très-abaissé.

Affûts de mortiers.

L'affût de mortier de 27 centimètres, construit d'après les Tables de Gribeauval, ne permettait pas d'abaisser suffisamment la bouche du mortier, pour le tir à ricochet ; aussi avait-on essayé dans les écoles, divers moyens d'y remédier, comme châssis incliné, coins, lambourdes, etc.,

moyens qui n'avaient que très-imparfaitement réussi. D'un autre côté, le Ministre de la Guerre, ayant ordonné la construction d'un certain nombre d'affûts de mortiers pour l'armement de Paris, demanda au Comité s'il serait utile d'apporter quelques changements dans les modèles, avant de faire couler les flasques.

On reprit alors, au Dépôt central, l'étude du système d'affûts, mentionné au n° VI du *Mémorial* (page 670), et qui avait été présenté en 1842, pour un mortier de côte non adopté.

Deux nouveaux modèles d'affûts de ce système furent présentés; l'essai en fut ordonné dans les polygones de Besançon, la Fère, Rennes et Vincennes.

Cet essai, ainsi que celui des anciens affûts modifiés, réussit complétement. Seulement, à Besançon et plus particulièrement encore à Vincennes, le mortier de 22 centimètres se renversa plusieurs fois sur l'entretoise de derrière, et fit la culbute en arrière de l'affût. On corrigea alors le tracé du logement des tourillons, de manière à former, à l'angle de derrière de ce logement, un talon arrondi contre lequel s'arrêtent les renforts des tourillons du mortier, quand la bouche de la pièce se relève jusque-là dans le tir. L'épreuve fut renouvelée avec succès après cette correction, dans les deux polygones où l'accident signalé s'était produit.

Les nouveaux affûts, ainsi que les modifications à appliquer aux anciens, furent dès lors adoptés, et les Tables particulières à chacun d'eux ont été lithographiées, sous la date du 16 décembre 1848.

Éprouvette en fonte de fer.

On a fait connaître dans le n° VI du *Mémorial*, que, les éprouvettes en fonte de fer ayant été substituées aux éprouvettes en bronze, une décision ministérielle du 17 mai 1842 avait fixé à 235 mètres, au lieu de 225 mètres, la portée

de réception des poudres avec les nouvelles éprouvettes; mais, dans les premiers mois de 1843, deux de ces éprouvettes en fer ayant été tirées dans chacune des poudreries, comparativement avec une éprouvette en bronze, la moyenne des portées obtenues dans toutes les poudreries fut trouvée de 5 mètres plus faible avec les éprouvettes en fonte de fer qu'avec les éprouvettes en bronze. La contradiction entre ces résultats et ceux qui avaient été obtenus antérieurement, nécessitait de nouvelles épreuves, qui furent exécutées pendant l'hiver 1844-1845 et pendant l'été 1845.

Par suite de ces expériences, une décision ministérielle du 26 avril 1846 a prescrit de s'en tenir à la portée de 225 mètres pour la réception des poudres avec l'éprouvette en fer, comme avec les éprouvettes anciennes en bronze dont on doit continuer à faire usage, jusqu'à ce qu'elles soient hors de service.

Batterie de côte dans les polygones.

Il a été décidé en principe, le 17 février 1850, que toutes les écoles où l'étendue du polygone permet le tir du canon de 30 et de l'obusier de 22 centimètres, de côte, seront dotées, aussitôt que possible, de pièces de cette espèce, montées sur des affûts de côte. On devra aussi introduire dans les polygones l'obusier de place en fonte de fer. La manœuvre de tout ce nouveau matériel pourra ainsi être rendue familière aux canonniers, sous-officiers, etc.

Une condition essentielle pour l'instruction sur la batterie de côte est la possibilité de tirer le canon de 30 avec la charge de 5 kilogrammes, et l'obusier de 22 centimètres avec celle de $3^{kil},50$, charges qui donnent respectivement le but en blanc de 800 et 568 mètres. Par conséquent, il est nécessaire de pouvoir installer la batterie à une distance de la

butte égale au moins à 800 mètres; mais il serait plus avantageux que cette distance pût être portée jusqu'à 1 000 et 1 200 mètres, afin de se rapprocher des circonstances dans lesquelles ces bouches à feu sont ordinairement employées contre les vaisseaux.

C'est en ce sens que des instructions ont été envoyées aux écoles.

Expériences sur le tir en brèche.

L'opération de faire brèche, dans un siége, présentant toujours beaucoup de difficultés, tout ce qui s'y rapporte a une grande importance; aussi les études faites en 1834, à Metz, sur ce genre de tir, ont-elles fixé l'attention du corps de l'artillerie.

En 1844, on a appliqué les méthodes résultant de ces études aux opérations du simulacre de siége de la même place.

En 1847, on a exécuté sur une grande échelle, à Bapaume, des expériences sur les brèches de différentes espèces, et en particulier sur celles qui sont effectuées par un tir oblique. Les résultats de ces travaux remarquables et instructifs viennent d'être publiés (*).

Tables de tir des canons et obusiers.

A l'époque où l'on s'occupa de la rédaction de la deuxième édition de l'*Aide-Mémoire de l'Artillerie* (1844), on reconnut que les Tables du tir à ricochet des obusiers de 22 et de 16 centimètres, employés dans le service des siéges, n'avaient pas toute la précision désirable. La Commission des principes du tir, de l'école d'artillerie de Metz, fut chargée

(*) Le Comité de l'artillerie vient de rédiger une instruction pratique concernant le tir en brèche, et fondée sur l'ensemble des résultats recueillis jusqu'en 1852. Cette instruction, qui a été approuvée, le 25 mai 1852, par le Ministre de la Guerre, et le Rapport du Comité qui l'accompagne, sont insérés dans le présent numéro du *Mémorial*, page 397.

de la vérification de ces Tables et de celles des canons de 24 et de 16.

Les Tables rectifiées ont été lithographiées au Dépôt central de l'artillerie et adressées aux divers établissements de l'arme.

Pendules balistiques.

Des canons-pendules ont été établis à l'école de Vincennes et dans les poudreries de Metz, du Bouchet et d'Angoulême, d'après les projets de MM. Piobert et Morin; et à la poudrerie d'Esquerdes, suivant le projet de M. Maguin, commissaire des poudres; les quatre derniers canons-pendules servent aux épreuves semestrielles des poudres de guerre.

Pour faciliter les calculs des vitesses des projectiles dans les épreuves de ce genre, M. le chef d'escadron d'artillerie Susane a calculé des Tables qui permettent de tenir compte avec facilité des variations du poids des balles, dans le tir du fusil-pendule, et de celles du poids des boulets et du poids du chargement du récepteur, dans le tir du canon-pendule.

De 1836 à 1842, la Commission des principes du tir de Metz avait exécuté, à l'aide d'un pendule balistique, une série complète d'expériences, avec les bouches à feu, les poudres et les projectiles en usage, et pour les modes de chargement habituellement pratiqués.

Les résultats de ces recherches ont déjà trouvé des applications utiles, et ont servi notamment à l'établissement des Tables de tir.

VII. — TRAVAUX DE BATIMENTS ET USINES.

Depuis la publication du dernier numéro du *Mémorial*, les travaux de bâtiments et machines exécutés par le service de l'artillerie, ont pris de l'extension.

Arsenaux et Directions.

On a continué la reconstruction des grands arsenaux dont les plans d'ensemble avaient été arrêtés depuis longtemps.

A Besançon, on a construit le bâtiment d'administration et les ateliers des ouvriers en bois et en fer. On a préparé le projet du bâtiment destiné à servir de magasin aux voitures et aux harnais ; son exécution complètera l'établissement de cet arsenal qui a été créé pour remplacer celui d'Auxonne.

L'arsenal de Lyon a été terminé par la construction de trois grands bâtiments servant de magasins au matériel, et par l'établissement d'un bas port sur la Saône.

Les plans d'ensemble et de détail pour la reconstruction d'un arsenal sur les terrains de l'ancienne citadelle de Metz ont été arrêtés.

A Rennes, on a construit un bâtiment de 140 mètres de long, destiné aux ateliers des ouvriers en bois. Les projets de deux bâtiments pour ateliers de peinture et pour magasins aux bois, ont été approuvés.

A l'arsenal de Strasbourg, on a construit les ateliers des ouvriers en fer et le mur de clôture de l'établissement, du côté du canal de l'Ile au Rhin. Les projets relatifs au nouveau bâtiment d'administration ont été préparés.

Un bâtiment, renfermant les magasins aux voitures et les salles aux harnais, a été construit à Toulouse. On a achevé la clôture de l'arsenal en achetant plusieurs propriétés particulières. Les projets de deux bâtiments destinés aux ouvriers en fer ont été approuvés.

On a également arrêté les projets de reconstruction du bâtiment servant de magasins aux voitures et de salles d'armes à Bayonne, et les projets de construction des bâtiments ayant la même destination dans le nouvel arsenal de Cherbourg.

Les arsenaux d'Amiens, de Bouchain, de Concarneau, de Landrecies et de Marsal ont été reconstruits.

Les plans d'ensemble et de détail de ceux d'Avesnes, de Langres et de Granville ont été définitivement arrêtés, et les travaux sont en cours d'exécution.

On s'est aussi occupé des établissements à créer dans les nouvelles places des Rousses et de Saint-Nazaire.

Paris, qui doit renfermer un matériel considérable pour l'armement de son enceinte et des forts détachés qui l'entourent, réclamait de vastes magasins. Au moyen de quelques travaux d'appropriation, on a pu utiliser provisoirement, pour cette destination, une partie des casemates de la plupart des forts.

Un hangar de 50 mètres de long, surmonté d'une belle charpente en fer, a été terminé au Mont-Valérien. Un autre grand bâtiment de 90 mètres de long, qui contiendra, au rez-de-chaussée, un magasin aux voitures, et à l'étage, une salle d'armes pour cent mille fusils environ, est en cours de construction dans la même forteresse.

A Vincennes, un hangar a été établi pour abriter le parc chargé, qui doit toujours rester disponible dans ce fort.

On a construit, au fort Saint-Jean à Lyon, et dans les citadelles de Lille et de Verdun, de grands bâtiments renfermant, au rez-de-chaussée, des magasins aux voitures, et des salles d'armes à l'étage.

D'autres magasins ont été aussi construits ou sont sur le point de l'être dans les places de Cambrai, Perpignan, Valenciennes, Vitry-le-Français, Briançon, Metz, Pierre-Châtel, Montmédy, Lorient, Sedan, Corté, aux forts Penthièvre et l'Écluse, et dans les forts Belin et Dauphin, dépendant, le premier de Salins, et le second de Briançon.

On a encore pourvu aux besoins de l'artillerie par des appropriations de locaux pour l'emmagasinement du matériel, dans d'autres places, telles que Nantes, Bellegarde,

Villefranche, Pratz-de-Mollo, etc. L'établissement de nouveaux râteliers pour fusils et de châssis pour sabres, dans les salles d'armes de Besançon, Toulouse, Grenoble (citadelle de Rabot), Lille, Valenciennes, Maubeuge, Condé, Saint-Omer, Montpellier, Mont-Dauphin, Angers, a considérablement augmenté les moyens d'emmagasinement dont on pouvait disposer pour les armes portatives.

Des magasins aux harnais ont été organisés dans les places de Toulouse, Perpignan, la Fère et Saint-Omer. Un râtelier type, pour recevoir les harnais, a été adopté.

Des instructions ont été données pour mettre à l'étude, dans les arsenaux de construction, des projets relatifs à l'installation de scieries mécaniques et de machines outils, ainsi que pour l'amélioration des moteurs hydrauliques.

Enfin, on a entrepris des études sur l'introduction des machines à vapeur dans les arsenaux qui ne sont pas pourvus de moteurs hydrauliques, ou qui n'en ont que d'insuffisants à leur disposition.

Algérie. — L'emplacement primitivement désigné à Alger, pour la construction d'un grand arsenal, n'ayant pu être cédé au service de l'artillerie, d'autres terrains, à Bab-el-Oued, ont été affectés à cette destination. Les plans d'ensemble et de détail des bâtiments en projet ont été préparés.

On a arrêté également les dispositions générales des établissements d'artillerie à créer dans les places d'Oran, Constantine, Philippeville, Bone, Cherchell, Médéah, Milianah, Dellys, Djidjeli, Tlemcen.

A La Calle, Bathna, Mascara, Sétif, des emplacements ont été désignés pour la construction de magasins au matériel.

Les travaux pour la formation de ces divers établissements sont en cours d'exécution ou sur le point d'être entrepris.

Écoles d'artillerie.

Le service des écoles d'artillerie a donné lieu à quelques acquisitions de terrains et à plusieurs constructions importantes.

Le polygone de Besançon a été agrandi, afin de mettre un terme à la nécessité où l'on se trouvait de payer aux propriétaires voisins, des indemnités pour les dégâts causés, par le tir des projectiles. Un hangar pour l'exécution des manœuvres de détail pendant le semestre d'hiver, a été établi dans cette école.

Les polygones de Douai et de Rennes, qui ne présentaient pas une étendue suffisante pour les manœuvres de batteries attelées, ont été agrandis au moyen d'acquisitions de terrains.

L'emplacement destiné à l'établissement de l'école de Lyon, en arrière du fort de la Part-Dieu, a été remis à l'artillerie par le service du génie. Les projets d'ensemble et de détail pour la construction des bâtiments à élever sur ces terrains, ont été définitivement arrêtés.

Des hangars pour remiser, pendant l'hiver, le matériel affecté à l'instruction, ont été construits dans les polygones de Toulouse et de Vincennes.

Enfin, il a été établi, à l'école de Vincennes, un hangar aux manœuvres, ayant 60 mètres de longueur et 25 mètres de largeur. Ce bâtiment a reçu une charpente à grande portée, en fer et en bois, d'une construction remarquable et analogue à celle des belles couvertures des gares des chemins de fer de Saint-Germain et Versailles (rive droite).

En Algérie, un polygone ayant une superficie de 65 hectares environ, a été établi à 4 kilomètres de Constantine.

Salles d'artifices. — Magasins à poudre.

Des salles d'artifices ont été construites dans les places de Grenoble, Dunkerque, Péronne, la Rochelle, Douai, Belle-Ile, Valenciennes, Mont-Dauphin, Montpellier, Lyon, à l'arsenal de la Fère, au fort des Têtes à Briançon, et dans les polygones de Bourges, de Strasbourg et de Vincennes. On a construit en outre, dans ce dernier polygone, un atelier pour le battage des fusées de guerre.

Des projets pour l'établissement d'autres salles d'artifices ont été arrêtés et seront bientôt exécutés, notamment un projet qui est relatif à une construction de ce genre, dans le camp retranché de Sainte-Anne, à Toulon. La nécessité en est depuis longtemps reconnue.

Les ressources dont l'artillerie disposait pour l'emmagasinement des poudres ont reçu un accroissement considérable, par suite de la construction de cinquante-quatre nouveaux magasins à poudre, dont trente et un dans les forts environnant Paris, quinze dans les autres places de l'intérieur, et huit en Algérie.

Des emplacements pour l'établissement de cinquante autres magasins à poudre, projetés dans différentes places, ont été définitivement déterminés.

Plusieurs des anciens magasins à poudre ont reçu des améliorations notables sous le rapport de la siccité et de la sécurité.

Des dispositions particulières ont été prises pour l'assainissement des magasins de Rocroi, Mézières, Aire, le Havre, Péronne, Amiens, Avesnes.

Des travaux pour la consolidation des planchers d'entresol, ont été effectués de manière à permettre l'emmagasinement des barils de poudre par un engerbement maximum.

Des paratonnerres ont été placés sur quelques magasins qui en étaient dépourvus; des instructions ont été données

pour que, chaque année, ces appareils eussent à subir, dans toutes les places, une inspection détaillée.

Des terrains ont été acquis et des maisons démolies à Brouage, pour isoler complétement le grand magasin de dépôt qui existe dans cette localité.

Une instruction, présentant en détail toutes les dispositions à suivre dans la construction des magasins à poudre, a été rédigée de concert par les deux Comités de l'artillerie et des fortifications, et a été approuvée par le Ministre de la Guerre, le 19 mars 1848.

Enfin, une autre instruction, en date du 1er octobre de la même année, a indiqué, d'une manière méthodique, tous les renseignements que doivent fournir les procès-verbaux de remise des magasins à poudre.

Fonderies.

Le plan d'ensemble pour la reconstruction de la fonderie de Douai a été définitivement arrêté.

Une étuve pour le moulage en sable et un chemin de fer avec plate-forme pour la facilité du service, ont été établis à la fonderie de Strasbourg.

La clôture de la fonderie de Toulouse a été améliorée; le coursier de la forerie hydraulique a été réparé, et les perfectionnements qu'est susceptible de recevoir la roue hydraulique, ont été indiqués.

Manufactures d'armes.

Les moteurs des usines de la manufacture de Châtellerault ont reçu de notables améliorations : on a substitué aux roues de côté, des turbines des systèmes Fourneyron et Fontaine. Les variations fréquentes et considérables du niveau inférieur des eaux exposaient les roues de côté à être noyées et arrêtées en temps de crue. L'introduction des

turbines a paré à ces inconvénients, et a fait cesser les chômages qui résultaient des grandes crues.

Dans l'intérêt de la santé des ouvriers, un ventilateur aspirant a été établi dans l'atelier des aiguiseurs.

On a encore installé à Châtellerault :

1° Un laminoir et une cisaille à bras, servant à la fabrication des tôles d'acier pour fourreaux de sabres; 2° un appareil de lessivage des bois, composé d'un générateur de vapeur et d'une chambre pouvant contenir mille bois de fusils.

A Tulle, l'usine de l'Estabournie, ayant été acquise par l'État, a reçu une turbine du système Fontaine et toutes les machines nécessaires à une fabrication annuelle de vingt mille fusils; on a construit à proximité un grand bâtiment pour loger les ouvriers.

L'usine du Martinet à Souillac, dépendance de la même manufacture, a été reconstruite et a été composée de deux roues hydrauliques, de trois martinets, d'une cisaille et d'un ventilateur. Un bâtiment destiné au logement des ouvriers a été établi près de l'usine.

Un martinet a été construit dans l'usine des Rives, dépendant de la manufacture de Saint-Étienne.

Enfin, des séries complètes d'expériences au frein ont été faites sur les turbines de Châtellerault et de l'Estabournie, tant pour la réception de ces moteurs que pour la constatation des effets utiles qu'ils peuvent transmettre, soit dans le système Fourneyron, soit dans le système Fontaine.

Poudreries.

L'exécution des plans d'ensemble arrêtés pour l'amélioration et l'accroissement des moyens de fabrication des poudreries, a été activement continuée.

Au Bouchet, le barrage du vivier a été reconstruit; cet

important travail, exécuté sur un sol tourbeux, présentait de grandes difficultés, qui ont été heureusement vaincues. Un petit barrage, avec déversoir régulateur et vannes de décharge, a été établi pour la poudrerie moyenne. De nouvelles usines, parmi lesquelles deux moulins à meules de fonte, ont été installées pour la fabrication de la poudre de chasse.

Au Pont-de-Buis, on a construit un grand barrage de retenue des eaux, ainsi qu'un nouveau canal de hautes eaux, au moyen duquel la chute totale des usines a été considérablement accrue. Par suite de ces dispositions, cette poudrerie a pu augmenter de beaucoup ses moyens de production. Des projets pour y construire deux usines à pilons, deux dépôts, deux grenoirs, deux passerelles et un pont sur les canaux, ont été étudiés.

On a arrêté les projets présentés par la poudrerie de Metz, pour le creusement de nouveaux canaux, pour l'établissement des ponts et passerelles sur ces canaux, et pour la construction de deux usines, l'une à meules, l'autre à pilons.

Les améliorations de la poudrerie du Ripault sont en cours d'exécution; un nouveau barrage de retenue formant déversoir est terminé. Par un meilleur emploi de la puissance motrice, les moyens de production de cet établissement central recevront un grand développement. Des projets pour la reconstruction de trois moulins à pilons, des ateliers de pliage et du mur de clôture, ont été arrêtés.

La nouvelle poudrerie de Toulouse, à l'extrémité de l'île du Grand-Ramier, est en cours de construction.

A Angoulême, les coursiers de deux usines ont été modifiés, et des roues à aubes courbes ont été substituées à des roues à palettes.

A Saint-Médard, on a construit un barrage de retenue et des moulins neufs avec des roues de côté, qui dépensent

beaucoup moins d'eau que les anciennes, et qui ont réduit la durée des chômages que cet établissement avait à subir. Des mécanismes complets pour la fabrication de la poudre ronde y ont été installés.

On a introduit, dans les poudreries de Vonges et de Saint-Chamas, l'usage des appareils de séchage par la ventilation que produit un chauffage à l'eau chaude.

Les essais exécutés à la poudrerie d'Esquerdes sur la carbonisation du bois par la vapeur d'eau surchauffée, ayant donné des résultats satisfaisants, on a monté, à Saint-Chamas, un appareil complet pour faire le charbon par ce procédé. Les projets de reconstruction des usines de ce dernier établissement, qui ont été détruites par l'explosion de 1848, ont été examinés.

Les poudreries de Saint-Ponce et de Vonges ont reçu des moteurs et des machines perfectionnés. Dans cette dernière, il a été établi des mécanismes complets pour des meules pesantes en fonte et pour un grenoir mécanique.

La fabrication de la poudre de mine ronde, par le procédé des tonnes, a reçu de grands développements.

Tels sont les principaux travaux de bâtiments et machines dont l'artillerie a eu à s'occuper du 1er novembre 1844 au 1er janvier 1851, indépendamment des projets relatifs à l'entretien courant des bâtiments et couvertures, ainsi que d'un grand nombre de questions contentieuses ou spéciales, se rattachant par quelques points au service des constructions.

VIII.

LISTE DE QUELQUES OUVRAGES ENVOYÉS AU COMITÉ, DE 1845 A 1851, PAR DES OFFICIERS D'ARTILLERIE.

1845. — *Traité d'Artillerie théorique et pratique. — Précis de la partie élémentaire et pratique*, 2e édition, par M. le colonel Piobert; 1 vol. in-8°.

1845. — *Du Tir des armes à feu et principalement du fusil*, par M. le chef d'escadron Delorme Duquesnay; 1 vol. in-8°.

1845. — *Mémoire sur le service de l'Artillerie, spécialement sur le meilleur mode de chargement des bouches à feu*, par M. le lieutenant général baron Corda; 1 vol. in-8°.

1845. — *Essai sur l'organisation de l'Artillerie et sur son emploi dans la guerre de campagne*, 2e édition, par M. le colonel Lebourg; 1 vol. in-8°.

1845. — *Histoire et tactique des trois armes, et plus particulièrement de l'Artillerie de campagne*, par M. le capitaine Favé; 1 vol. in-8° avec atlas.

1846. — *Nouvel équipage de ponts militaires de l'Autriche*, par M. le chef d'escadron Haillot; 1 vol. in-8°.

1846. — *Cours d'Artillerie, théorie et applications*, par M. le colonel Piobert, rédigé d'après les cahiers du professeur, en 1835, par MM. Didion et de Saulcy; 2e édition, avec un appendice par M. le chef d'escadron Didion. (Lithographié pour le service de l'École d'application de l'artillerie et du génie à Metz.)

1846. — *Leçons de Mécanique pratique*, par M. le lieutenant-colonel A. Morin; 3 vol. in-8°.

1846. — *Statistique militaire et Recherches sur l'organisation et les institutions militaires des armées étrangères*, par M. le chef d'escadron Haillot; 1 vol. in-8°.

1847. — *Traité d'Artillerie théorique et pratique. — Partie théorique et expérimentale. — Propriétés et effets de la poudre*, par M. le colonel Piobert; 1 vol. in-8°.

1847. — *Camps agricoles de l'Algérie*, par M. le capitaine Fabar; 1 vol. in-8°.

1847. — *La grande Kabylie*, par MM. Daumas et Fabar; 1 vol. in-8°.

1847. — *Histoire de la conquête de l'Algérie, de 1830 à 1847*, par M. le capitaine de Mont-Rond; 2 vol. in-8°.

1847, 1849 et 1850. — *Essai sur l'art de la guerre*, par M. le capitaine Dusaert; 3 vol. in-8°.

1848. — *Traité des bombardements*, par M. le capitaine F. De Blois; 1 vol. in-8°.

1848. — *De la construction des batteries dans la pratique de la guerre,* par Dupuget, avec une Notice de M. le capitaine Favé.

1848. — *Relation de la défense de Schweidaitz en* 1762, par M. le capitaine Favé.

1848. — *Traité de la défense des places fortes avec application à la défense de Landau,* par Hue de Caligny, précédé d'un avant-propos par M. le capitaine Favé.

1848. — *Des nouvelles Carabines et de leur emploi,* par M. le capitaine Favé.

1848. — *Traité de Balistique,* par M. le chef d'escadron Didion; 1 vol. in-8°.

1848. — *Théorie du pointage, à l'usage des sous-officiers d'artillerie,* par M. Page, professeur aux Écoles d'artillerie.

1848. — *Cours de Sciences physiques et chimiques appliquées aux arts militaires,* par M. le capitaine Émy. (Ce cours comprend la fabrication des projectiles, des armes de guerre, des bouches à feu, de la poudre, etc.)

1849. — *Constitution militaire de la France,* par M. le général de division Paixhans; 1 vol. in-8°.

1849, 1850, 1851. — *Histoire de l'ancienne infanterie française,* par M. le chef d'escadron L. Susane. (En cours de publication.)

1850. — *Leçons de Mécanique pratique; Cinématique ou étude du mouvement considéré au point de vue géométrique,* par M. le colonel A. Morin; 1 vol. in-8°.

1850. — *Théorie sur le jaugeage des cours d'eau à faible ou à moyenne section,* par M. le capitaine P. Boileau.

1850. — *Nouveau système d'Artillerie de campagne de L.-N. Bonaparte,* Président de la République française, par M. le capitaine Favé; 1 vol. in-8°.

1851. — *Nouveau système d'Artillerie de campagne de L.-N. Bonaparte; Résultats des expériences faites en* 1850, par M. le capitaine Favé; 1 vol. in-8°.

1851. — *Examen d'un nouveau système d'Artillerie de campagne présenté par L.-N. Bonaparte,* par M. le chef d'escadron Mazure; 1 vol. in-8°.

1851. — *Instruction pratique sur les machines à vapeur construites*

en France pour les usines, par M. le capitaine P. Boileau; 1 vol. in-4°, lithographié à l'École d'application de l'artillerie et du génie à Metz.

Traductions.

1846. — *La Balistique de Tartaglia;* ouvrage traduit de l'italien par M. Rieffel, professeur aux Écoles d'artillerie.

1846. — *Traité des Armes portatives*, par M. Muller; traduit de l'allemand par le même.

1846. — *Examen raisonné des progrès et de l'état actuel de la fortification permanente,* par M. Merkes; traduit du hollandais par le même.

1846. — *Théorie de la poussée des terres*, par M. Delprat; traduit du hollandais par le même.

1846. — *Expériences sur les poudres de guerre*, par M. Mordecai; traduit de l'anglais par le même.

1848. — *Manuel de l'Artillerie anglaise,* par M. Griffiths; traduit de l'anglais par le même.

1848. — *Traité des dessins et des machines d'Artillerie,* par M. Burg; traduit de l'allemand par le même.

1848. — *Expériences sur les schrapnels faites chez la plupart des puissances de l'Europe*, par Deker; ouvrage traduit de l'allemand et notablement augmenté par MM. le capitaine Favé et Terquem, professeur aux Écoles d'artillerie; 1 vol. in-8°.

1848. — *Mémoire sur la fabrication des poudres à canon de Bradock;* traduit de l'anglais par M. le capitaine Salvador; 1 vol. in-8°.

1848. — *Recherches sur l'origine et l'usage de la poudre à canon en Orient;* traduction de l'anglais par le même.

1850. — *De l'agitation pour la défense nationale en Angleterre; Examen critique des principaux documents publiés sur cette question;* traduit de l'anglais par le même.

1850. — *Règlement pour l'instruction, le service et les manœuvres de l'artillerie à cheval;* traduit de l'anglais par le même.

FIN DU MÉMORIAL N° VII.

TABLE DES MATIÈRES.

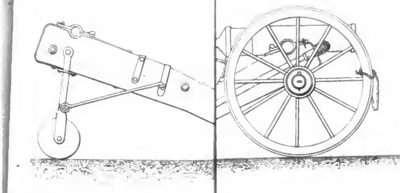
PLANCHES.

FIN DE LA TABLE.

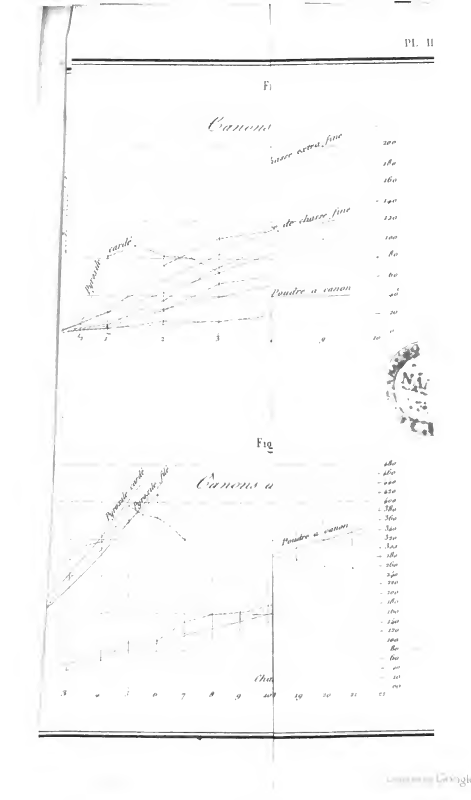
PARIS. — IMPRIMERIE DE BACHELIER,
rue du Jardinet, n° 12.

Affût porte-roue à bascule

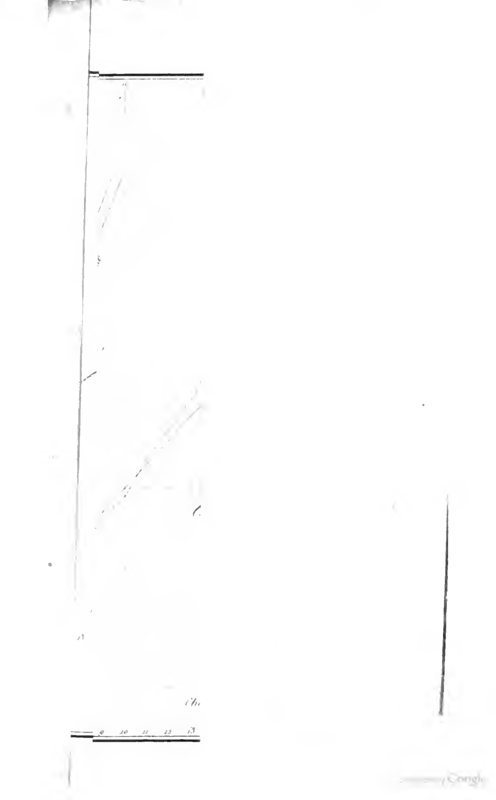
Affût à [illegible] rouages N M



10 20 30 40 50 60 70 80 90 100



Fi
Canons
hasse extra fine
de chasse fine
Pyroxile cardé
Poudre à canon
Fig
Canons à
Pyroxile cardé
Pyroxile filé
Poudre à canon
Cha



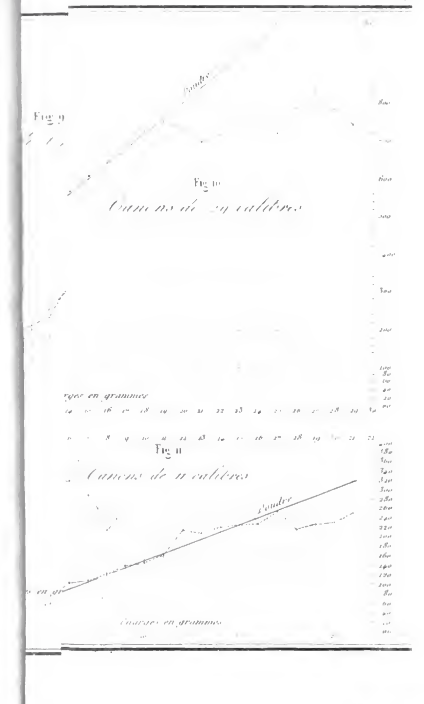
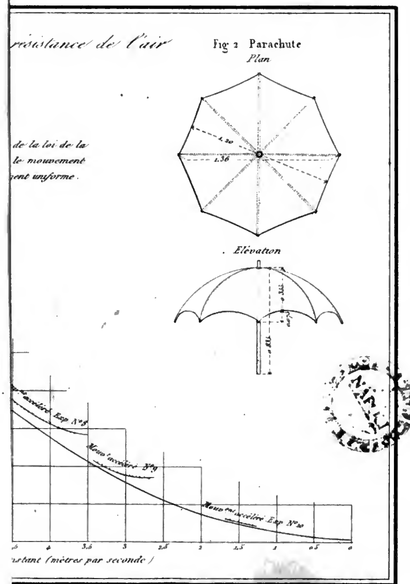
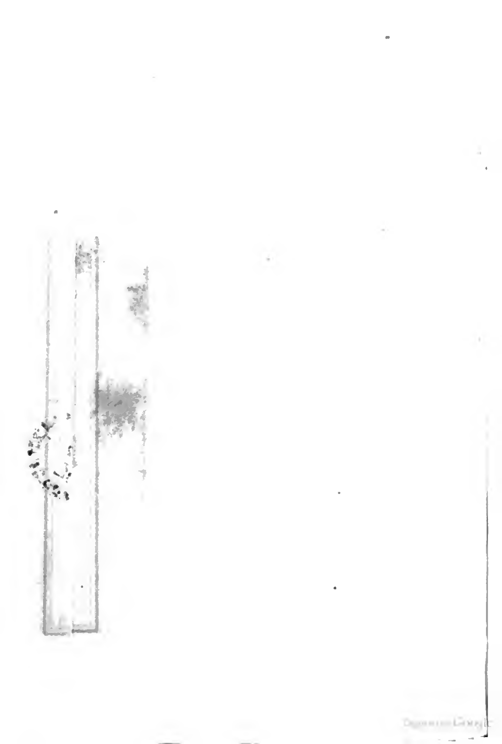
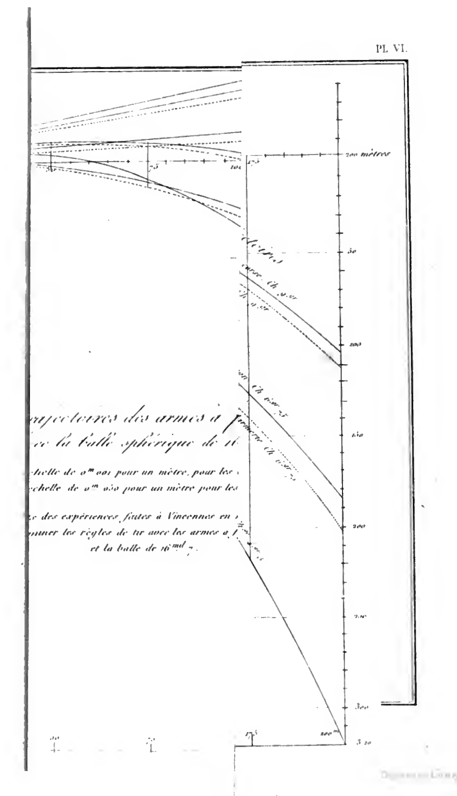


Fig. 9
Poudre
Fig. 10
Fig. 11
Canons de 11 calibres
Poudre
Charges en grammes


résistance de l'air
Fig. 2 Parachute
Plan
1.20
1.36
Élévation
de la loi de la
le mouvement
ent uniforme.
Mouv.t accéléré Exp. N.o 8
Mouv.t accéléré N.o 9
Mouv.t accéléré Exp. N.o 10
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
stant (mètres par seconde)



PL. VI.

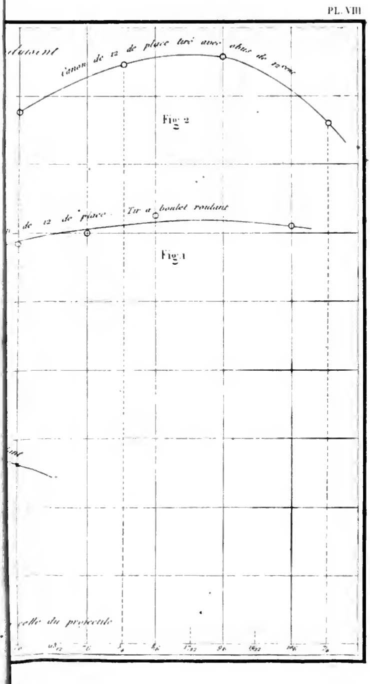


200 mètres
50
100
150
200
300
3 20
100m
175
rajectoires des armes à
ec la balle sphérique de 16
chelle de 0m 001 pour un mètre, pour les
chelle de 0m 050 pour un mètre pour les
e des expériences faites à Vincennes en
nner les règles de tir avec les armes à
et la balle de 16mil 7.



Fig. 2.
Courbes régulières des vitesses dans les canons
de 24 à boulet roulant
de 16 id id
de 12 id id
de 8 id id
e 12 à boulet ensaboté
me de 12 id id
gne de 8 id id
e 12 avec gargousse de foin
à boulet roulant
id id
le 12 à boulet ensaboté
gne de 8 id id
de 22 centimètres
gne de 16 cm chargement en usag
de 16 cm sans sabot
de 15 cm sans tampon
de 15 cm chargement en usag
gne
Racines carrées du rapport du poids de la charge à celui du boulet.

PL. VIII



Canon de 12 de place tiré avec obus de 12 cm
Fig. 2
de 12 de place . Tir à boulet roulant
Fig. 1
celle du projectile

